



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI - UNIVATES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO
DE ÁGUA EXISTENTE EM UMA LOCALIDADE RURAL DO MUNICÍPIO
DE ARROIO DO MEIO-RS VISANDO SUA OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL**

Neimar Marciel Graff

Lajeado, novembro de 2019

Neimar Marciel Graff

**ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO
DE ÁGUA EXISTENTE EM UMA LOCALIDADE RURAL DO MUNICÍPIO
DE ARROIO DO MEIO-RS VISANDO SUA OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL**

Monografia de Conclusão de Curso Etapa II,
apresentado ao Curso de Engenharia Civil, da
Universidade do Vale do Taquari UNIVATES,
sendo requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ms. Marcelo Luis Kronbauer.

Lajeado, novembro de 2019

Neimar Marciel Graff

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EXISTENTE EM UMA LOCALIDADE RURAL DO MUNICÍPIO DE ARROIO DO MEIO-RS VISANDO SUA OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL

A Banca examinadora abaixo aprova o Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso –Etapa II, na linha de formação específica em Engenharia Civil, da Universidade do vale do Taquari UNIVATES, como parte da exigência para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil:

Prof. Ms. Marcelo Luis Kronbauer (orientador)
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Dr. Gustavo Reisdorfer
Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Ms. Adilson Becker Junior
Universidade de Santa Cruz do Sul – Unisc

Lajeado, novembro de 2019

AGRADECIMENTOS

Primeira e principalmente gostaria de agradecer a minha Esposa Fernanda, que foi a grande incentivadora, me deu suporte e esteve junto comigo nesta caminhada, serei eternamente grato, e espero poder fazê-la cada vez mais feliz.

Aos meus pais Alírio, que infelizmente perdi durante a faculdade, mas que carregarei seus ensinamentos por toda vida, e Marieta por tudo que me proporcionaram durante a vida; ao meu irmão Leandro e minha cunhada Cris que me dão muita força, e são pais do meu sobrinho e xodó Gustavo.

A família da minha esposa, Luis Carlos (Neco), Neide e Fernando, por me acolherem tão bem e também me apoiarem muito nesta jornada.

Ao meu orientador Prof. Ms. Marcelo Luis Kronbauer, um amigo que ganhei para a vida, por quem tenho grande admiração pelo apoio durante o TCC, compartilhando o seu conhecimento sem medir esforços.

Agradeço também a todos meus amigos que sempre me apoiaram e acreditaram no meu potencial, e ao pessoal do escritório, principalmente ao Michel, por ser flexível com horários e compromissos entendendo o quão importante era esse momento para mim.

A todos, muito obrigado!

RESUMO

Uma preocupação recorrente em sistemas de abastecimento de água (SAA), são as perdas que acontecem em toda sua extensão, porém com maior frequência nas redes que a distribuem. Os principais fatores de perdas, são pressões elevadas, variações de pressão, utilização de material e mão-de-obra inadequados, sendo que dificilmente é possível anulá-las, mas pode-se amenizá-las. Outro fator, é que redes de águas de comunidades rurais geralmente são feitas sem seguir padrões normatizados de instalação, e não tem registrados trajetos e tipos de tubulações utilizados. Este trabalho teve como objetivo, o mapeamento para registrar, caracterizar e dimensionar a rede existente que abastece 28 famílias em uma comunidade rural do município de Arroio do Meio – RS, para futuras manutenções e alterações, sendo que com o diagnóstico foram apresentadas propostas de possíveis melhorias através de simulações do programa Epanet 2.0. Os resultados indicaram que a rede foi executada com dimensões de tubulações abaixo do indicado pela norma regulamentadora, com velocidades de fluxo de água abaixo do mínimo exigido, e com as pressões nos locais mais próximos do reservatório ineficientes. As propostas de melhoria para a rede, envolveram o aumento de diâmetro da rede principal e a elevação do reservatório, sendo que somente a segunda alcançou os objetivos de melhorar a pressão do sistema de abastecimento. Outra alternativa para resolver pontos específicos de falta de pressão foi instalar pressurizadores por ponto de consumo, que seria a opção mais viável economicamente, uma vez que se trata de uma sociedade de água de pequeno porte.

Palavras-chave: diagnóstico, rede de água, simulação hidráulica, epanet

“Que os nossos esforços desafiem as impossibilidades. Lembrai-vos de que as grandes proezas da história foram conquistas daquilo que parecia impossível”.

(Charles Chaplin)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Croqui de Sistema de Abastecimento de Água.....	26
Figura 2 – Tipos de manancial.	27
Figura 3 – Poço Artesiano.....	28
Figura 4 – Tipos de reservatórios.....	35
Figura 5 – Rede ramificada.	36
Figura 6 – Rede malhada.....	37
Figura 7 – Rede mista	37
Figura 8 – Tipos de vazamento em redes de distribuição de água.	39
Figura 9 – Síntese para ações de controle e redução de perdas reais.	42
Figura 10 – Síntese para ações de controle e redução de perdas aparentes	45
Figura 11 – Localização do município de Arroio do Meio	51
Figura 12 – Localização do Bairro de Dona Rita	52
Figura 13 – Indicação do traçado atual da rede de distribuição de água	53
Figura 14 – Simbologia utilizada para a representação da rede	55
Figura 15 – Responsáveis pela medição da rede de água.....	63
Figura 16 – Tubulação de canos PVC.....	64
Figura 17 – Reservatório de água da rede.....	65
Figura 18 – Comprimentos das tubulações do Trecho Norte.	66
Figura 19 – Diâmetros das tubulações existentes do Trecho Norte	67
Figura 20 – Cotas de nível dos nós do Trecho Norte.	67
Figura 21 – Diâmetros das tubulações renovadas do Trecho Norte.	72
Figura 22 – Cotas de nível dos nós do Trecho Norte com elevação do reservatório	75
Figura 23 – Modelo de pressurizador sugerido para o Trecho Norte	77
Figura 24 – Comprimentos das tubulações do Trecho Sul.....	79

Figura 25 – Diâmetros das tubulações existentes do Trecho Sul.....	80
Figura 26 – Cotas de nível dos nós do Trecho Sul.....	80
Figura 27 – Diâmetros das tubulações renovadas do Trecho Norte	85
Figura 28 – Cotas de nível dos nós do Trecho Sul com elevação do reservatório....	88
Figura 29 – Modelo de pressurizador sugerido para o Trecho Sul.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Causas e ocorrências das perdas reais de água.....	40
Quadro 2 – Causas e ocorrências das perdas aparentes de água	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificação de diâmetros utilizados em SAA.....	58
Tabela 2 – Dimensões do Trecho Norte.....	68
Tabela 3 – Resultados da rede atual no Trecho Norte.....	70
Tabela 4 – Dimensões do Trecho Norte com aumento de diâmetro.	73
Tabela 5 – Resultados da rede no Trecho Norte com aumento de diâmetro.	74
Tabela 6 – Resultados do Trecho Norte com elevação do reservatório.....	76
Tabela 7 – Dimensões do Trecho Sul	81
Tabela 8 – Resultados da rede atual no Trecho Sul.	83
Tabela 9 – Dimensões do Trecho Sul com aumento de diâmetro.....	86
Tabela 10 – Resultados da rede no Trecho Sul com aumento de diâmetro.....	87
Tabela 11 – Resultados do Trecho Sul com elevação do reservatório.....	89
Tabela 12 – Orçamento para elevação do reservatório	93

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Análise comparativa das propostas de melhorias do Trecho Norte.....	78
Gráfico 2 – Análise comparativa das propostas de melhorias do Trecho Sul.....	91

LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Mapa planialtimétrico da rede de abastecimento de água.....	102
Anexo B – Planilha de cálculos para dimensionamento de rede no Trecho Norte..	103
Anexo C – Planilha de cálculos para dimensionamento de rede no trecho Sul.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART – Anotação de Responsabilidade Técnica
CESB – Companhia Estadual de Saneamento Básico
CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento
CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
EPA – Environmental Protection Agency
ETA – Estação de Tratamento de Água
GPS - Global Positioning System
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IWA – International Water Association
LNS – Lei Nacional do Saneamento
MCA – Metro de coluna D'água
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
PLANASA – Plano Nacional de Saneamento
SAA – Sistema de Abastecimento de Água
SNAS - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo geral.....	19
1.1.2 Objetivos específicos	19
1.2 Justificativas	20
1.3 Delimitações.....	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Saneamento Básico	21
2.1.1 Definição de Saneamento Básico	21
2.1.2 Aspectos Históricos de Saneamento Básico	22
2.1.3 Aspectos Históricos do Saneamento no Brasil e sua Evolução	23
2.2 Sistema de Abastecimento de Água (SAA)	25
2.3 Componentes de um Sistema de Abastecimento de Água	26
2.3.1 Manancial	26
2.3.2 Poços Artesianos	28
2.3.2.1 Características de Águas Subterrâneas.....	29
2.3.3 Captação	30
2.3.4 Estação Elevatória.....	31
2.3.5 Adutoras.....	31
2.3.6 Estação de Tratamento de Água (ETA)	32
2.3.6.1 Desinfecção da Água	33
2.3.7 Reservatórios	34
2.3.8 Redes de Distribuição de Água.....	35
2.4 Perdas de Água	38
2.4.1 Perdas Reais (físicas)	38
2.4.1.1 Vazamentos.....	38
2.4.1.2 Extravasamentos.....	39
2.4.1.3 Causas que Geram Perdas Reais.....	40
2.4.1.4 Ações para Reduzir Perdas Reais.....	40
2.4.2 Perdas Aparentes (não-físicas).....	42
2.4.2.1 Causas que Geram Perdas Aparentes.....	43
2.4.2.2 Ações para Reduzir Perdas Aparentes.....	44
2.4.3 Índices de Perda	46
2.5 Sistemas de Simulação Hidráulica	46

2.5.1 Epanet 2.0	48
2.5.2 Calibradores dos Modelos de Simulação.....	49
2.5.3 Avaliação de Custos dos Projetos.....	50
3 METODOLOGIA	51
3.1 Caracterização da Área de Estudo	51
3.2 Levantamento de Dados.....	52
3.2.1 Pesquisa Documental.....	53
3.2.2 Pesquisa de Campo.....	54
3.3 Mapeamento da Rede de Abastecimento de Água	54
3.4 Dimensionamento da Rede de Abastecimento de Água	55
3.4.1 Elementos Básicos para Dimensionamento	56
3.4.2 Cálculo de Diâmetros	57
3.4.3 Cálculos de Velocidades	58
3.4.4 Cálculo de Perdas de Carga.....	59
3.4.5 Determinação das Cotas do Terreno e Cotas Piezométricas.....	60
3.4.6 Determinação das Pressões Disponíveis	60
3.5 Simulação de Rede com Epanet 2.0	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	62
4.1 Diagnóstico da Rede Atual.....	62
4.2 Resultados do Dimensionamento para o Trecho Norte do SAA.....	66
4.2.1 Diagnóstico atual do Trecho Norte	66
4.2.2 Sugestões de Melhorias para o Trecho Norte	71
4.2.2.1 Alternativa 01: Aumento de Diâmetro da Rede para o Trecho Norte.....	71
4.2.2.2 Alternativa 02: Elevação do Reservatório para o Trecho Norte.....	75
4.2.2.3 Alternativa 03: Instalação de Pressurizador por ponto de consumo	77
4.2.3 Análise Comparativa das Melhorias do Trecho Norte	78
4.3 Resultados do Dimensionamento para o Trecho Sul do SAA	79
4.3.1 Diagnóstico atual do Trecho Sul	79
4.3.2 Sugestões de Melhorias para o Trecho Sul.....	84
4.3.2.1 Alternativa 01: Aumento de Diâmetro da Rede para o Trecho Sul.....	84
4.3.2.2 Alternativa 02: Elevação do Reservatório para o Trecho Sul.....	88
4.3.2.3 Alternativa 03: Instalação de Pressurizador por ponto de consumo	90
4.3.3 Análise Comparativa das Melhorias do Trecho Sul	91
4.4 Análise Comparativa dos Custos das Melhorias Propostas no SAA	92
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	95
REFERÊNCIAS.....	97
ANEXOS	102

1 INTRODUÇÃO

A água é o motivo da origem do nosso planeta, sendo que é a substância de maior quantidade não só deste planeta, mas também no corpo dos seres vivos, e a falta dela poderia causar o fim de todas as atividades deste mundo (Alves, 2010). O homem pode ficar mais de um mês sem comer, mas depois de 4 dias sem água seu corpo para de funcionar. Para saber a qualidade da água é possível analisar diversos parâmetros dentre os quais se destacam os físicos, químicos e biológicos, e de acordo com Barcellos (2006), quanto mais se aperfeiçoar os sistemas de abastecimentos de água nos serviços públicos, maior vai ser a melhoria na saúde da população, causando conseqüentemente menores gastos com saúde pública.

Desde as civilizações mais antigas de que se tenha relatos, é possível notar-se a importância da água, do respeito e toda simbologia que ela representa para evolução de toda humanidade. É possível notar que com o crescimento da população ao longo do tempo, foi preciso que surgissem soluções para atender a demanda e higiene necessárias para que a água mantivesse sua qualidade (Silva, 1998). A questão de qualidade e da quantidade correta de água é primordial para o desenvolvimento do ser humano, principalmente em relação a saúde e bem-estar.

Outro fator que deveria ter atenção maior é o saneamento que, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS,2013), se define pelo conjunto de ações realizadas em determinado local para que os habitantes tenham uma vida e saúde melhores, e controla todos os fatores que atingem o meio físico do homem, e que tem o poder de exercer diversos efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social

da população. A questão de saneamento que no Brasil é precária e segundo o Instituto Trata Brasil (ITB, 2015), caso recebesse o devido valor poderia solucionar e prevenir milhares de doenças transmitidas, aumentar substancialmente a qualidade de vida e também a produtividade das pessoas.

É sabido que a poluição das águas é um dos fatores de maior preocupação mundial, pois atinge diretamente oceanos, mares, rios, lagoas e todos os locais de acúmulo de água. Quando se fala de poluição do meio ambiente é preciso saber que apesar de implantados de diferentes formas, sistemas de abastecimento de água, drenagem, limpeza urbana e esgotamento sanitário, acabam obrigatoriamente se inter-relacionando e constituindo o conceito de saneamento básico. Portanto quando um destes fatores é afetado acaba atingindo direta ou indiretamente a eficiência dos outros.

A forma desproporcional do crescente êxodo rural e do crescimento populacional que acontece nas últimas décadas, causando uma rápida e invasiva urbanização, tem contribuído diretamente para o esgotamento dos recursos naturais, como corpos hídricos e vegetações (Ramanchandra, 2014). Esse processo, segundo Watson (2009), acaba por comprometer a capacidade de gerir a demanda de serviços básicos como, por exemplo o saneamento, e que em decorrência disto afeta diretamente o abastecimento público de água, que é uma das principais vertentes do saneamento básico.

Pesquisas como as do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2008) apontam que no Brasil, 99,4% dos municípios têm serviços de abastecimento de água por alguma rede geral que distribui para pelo menos um de seus distritos. O problema é que estas redes geralmente não têm alcance às áreas rurais. Essas coberturas em zonas rurais acabam sendo precárias ou até inexistentes, podendo comprometer a qualidade de vida, bem-estar e saúde da população destas regiões, além da alta probabilidade de propagação de algum tipo de doença. O desenvolvimento de um sistema de abastecimento de água (SAA) exige uma série de questões a ser analisada para que seu dimensionamento e finalidade tenha eficiência. Existem muitas publicações na literatura que abordam este tema, onde é possível obter as informações necessárias para regiões urbanas; porém para ambientes rurais onde geralmente costumes, hábitos e necessidades divergem dos urbanos, os

referenciais não podem ser os mesmos, sendo que é importante fazer pesquisas direcionadas diretamente à área de instalação da rede para saber horários de consumo, finalidades de uso e distância percorrida pela rede.

Este trabalho tem por tema um mapeamento e estudo para embasar o dimensionamento de uma rede de abastecimento de água para uma comunidade rural, para diminuir perdas que acontecem durante sua execução e sua utilização, bem como otimizar o investimento em materiais e mão de obra que consomem alto valor do orçamento total de uma rede.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a análise e dimensionamento de uma rede de abastecimento de água existente em uma localidade rural, do Bairro de Dona Rita no município de Arroio do Meio/RS, visando sua otimização operacional.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral foram necessários alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Fazer um sobre as condições operacionais de todo o sistema de abastecimento;
- Mapear o traçado da rede de distribuição e efetuar o levantamento de dados básicos para o seu dimensionamento;
- Simular a rede com diferentes alternativas utilizando o *software* (Epanet 2.0) para fins de comparação em diferentes condições de consumo;
- Avaliar as vantagens e desvantagens das simulações, e propor soluções à rede de água existente.

1.2 Justificativas

A justificativa deste trabalho se deve a uma necessidade de uma sociedade de água em uma comunidade rural do município de Arroio do Meio com aproximadamente 28 anos de existência, onde um poço artesiano é responsável pelo abastecimento de um grupo de 28 famílias através de uma rede de água. Como não é um grande número de associados, a diretoria responsável pelo gerenciamento e pela manutenção da rede é a mesma que ajudou a fundar a sociedade, e está a mais de 20 anos no comando, sabendo detalhar todos os pontos, tipos de tubulações e consertos realizados neste período. Tendo em vista que não pode mais seguir por muito tempo nesta função e preocupada com o futuro da sociedade, anseia para que se tenha o registro detalhado da rede e também estudos para melhorias visando atender às famílias com eficiência, qualidade e também adaptações que fatalmente serão necessárias, para que futuras gerações tenham acesso aos dados obtidos com o resultado desta pesquisa e possam manter a rede por muitos anos.

1.3 Delimitações

O presente trabalho abrangeu a área de saneamento básico, abordando de modo específico a questão de abastecimento de água em comunidades rurais, onde a grande dificuldade se dá por conta do baixo número de informações encontradas na literatura sobre o assunto específico. Foi realizado um mapeamento de uma sociedade de água privada do município de Arroio do Meio, detalhando tubulações de rede, conexões e poço artesiano, para analisar e propor melhorias à rede existente, e principalmente para que se tenha registrada a rede para futuros usuários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A pesquisa realizada neste referencial teórico, visa elucidar as principais dúvidas referentes ao assunto, abordando temas pertinentes aos objetivos propostos, como o saneamento básico e seus efeitos sobre a saúde e qualidade de vida da população, o abastecimento de água e sua importância para o ser humano, os sistemas de abastecimento e toda sua estrutura para atender a demanda dos usuários utilizando as normativas brasileiras, livros e diversos tipos de publicações como fonte de pesquisa; bem como também o funcionamento e os problemas envolvidos nestes quesitos nas áreas rurais.

2.1 Saneamento básico

2.1.1 Definição de Saneamento Básico

O saneamento básico é definido pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério (SNSA) das cidades como:

O conjunto de ações técnicas e socioeconômicas, entendidas fundamentalmente como de saúde pública, tendo por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, compreendendo o abastecimento de água em quantidade e dentro dos padrões de potabilidade vigentes, o manejo de esgotos sanitários, resíduos sólidos e emissões atmosféricas, a drenagem de águas pluviais, o controle ambiental de vetores e reservatórios de doenças, a promoção sanitária e o controle ambiental do uso e ocupação do solo e a prevenção e controle do excesso de ruídos, tendo como finalidade promover e melhorar as condições de vida urbana e rural (SNSA, 2003, s.p.).

Em comunicado sobre O Direito Humano à Água e Saneamento, o Programa da Década da Água da ONU-Água sobre Advocacia e Comunicação (2011a) observa que:

O abastecimento de água e a disponibilidade de saneamento para cada pessoa deve ser contínuo e suficiente para usos pessoais e domésticos. Estes usos incluem, habitualmente, beber, saneamento pessoal, lavagem de roupa, preparação de refeições e higiene pessoal e do lar (2011a, p.2).

2.1.2 Aspectos Históricos de Saneamento Básico

Ao longo da história, desde os povos mais antigos até os tempos atuais, a falta de higiene e o uso inadequado da água para consumo causaram epidemias que chegaram a dizimar alguns povos. O saneamento sempre esteve ligado a transmissão de doenças, por isso que com o passar do tempo, quando do aumento da população e conseqüentemente com o aumento da geração de resíduos foi necessário começar a pensar em soluções capazes de controlar estas situações (RIBEIRO; ROOKE, 2010).

Os primeiros povos a desenvolverem técnicas sofisticadas para captação, adução, condução, armazenagem e purificação de água que se tem registros encontrados em gravuras e inscrições em túmulos são os egípcios que, de acordo com Canivatto (1992), armazenavam água por um ano para que a sujeira ficasse depositada no fundo do recipiente de armazenamento, prevenindo assim várias doenças, mesmo sem saber exatamente que elas eram transmitidas pelos microrganismos patogênicos presentes na água. Pessoas que consumissem água direto dos efluentes, suja ou não processada acabavam ficando mais sujeitos a contrair alguma doença. A partir destes processos de purificação japoneses e chineses passaram também a passar a água por tiras de tecidos, que funcionavam como filtro para remover impurezas.

2.1.3 Aspectos Históricos do Saneamento no Brasil e sua Evolução

No Brasil o saneamento começou a ser discutido no período colonial, onde com a chegada da família real portuguesa, a economia era baseada na utilização de recursos naturais como pau-brasil, açúcar, borracha e café; a população começou a crescer mais rapidamente causando acúmulos de resíduos e dejetos ao meio ambiente, necessitando assim a demanda por soluções de saneamento e abastecimento de água. Conforme Pereira, Souza e Silva (2010), as soluções para o saneamento geralmente eram voltadas à drenagem dos terrenos e a criação de chafarizes públicos em cidades. A partir da era republicana que começaram a surgir sistemas de coleta de esgoto, que abrangiam somente a população urbana das cidades que instalavam, atendendo por tanto uma pequena parte da população. Na entrada do século XX que começaram a surgir as primeiras organizações de serviço, sendo que as primeiras concessões de redes de saneamento e abastecimento foram entregues a companhias de fora do país. Depois das guerras mundiais, com o aumento da população, da pobreza no país e de um esgotamento de recursos minerais, ocorreu a estatização dos serviços para que fossem comercializados. Em 1970 com a tomada do regime militar, foram criados o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) e surgiram as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESB).

Turolla (2002) diz que a PLANASA se desenvolveu centralizando a gestão de saneamento por parte do setor público em âmbito estadual, o que na década de 1970 foi bastante eficaz, porém nas décadas seguintes acabou perdendo a eficiência não conseguindo corresponder nos principais desafios, sendo assim necessário buscar um novo modelo.

Somente no ano de 2007 que foi publicada a nova lei para o saneamento tendo diversas alterações em relação ao que era exigido pela PLANASA; dentre estas leis as de maior destaque foram o investimento necessário pela fornecedora para obter desempenho e a regulação sobre os serviços prestados. A Lei Nacional de Saneamento (LNS) foi publicada no dia 5 de janeiro de 2007, sendo definida como a Lei nº 11.445.

A Lei 11.445 de 2007 que dita as diretrizes nacionais de saneamento básico,

divide em quatro itens o conjunto de instalações, infraestrutura e serviços de saneamento:

- Abastecimento de água potável: é formado pelas instalações necessárias pelo abastecimento, desde a captação da água, passando por toda infraestrutura até chegar nos instrumentos medidores das ligações prediais;
- Drenagem e manejo de resíduos sólidos: é formado pelas instalações de operação de drenagem de águas pluviais urbanas, por toda infraestrutura, transporte, retenção ou detenção para amortecer vazões de cheias, tratamento e disposição final destas águas que são drenadas em áreas urbanas;
- Esgotamento sanitário: é formado pelas instalações de operação para coleta, por toda infraestrutura, transporte e tratamento até que seja dada a disposição final aos esgotos sanitários a partir das ligações prediais até o lançamento ao meio ambiente;
- Manejo de resíduos sólidos e limpeza urbana: é formado pelas instalações de operação de coleta, por toda a infraestrutura, transporte, tratamento e transbordo até a destinação final dos lixos domésticos, de limpeza de logradouros e de vias públicas.

No ano de 1992, no Rio de Janeiro ocorreu a ECO-92, um encontro voltado para questões relacionadas à qualidade da água e do meio ambiente, onde foi criado um plano de ação global com objetivos ambientais denominado de Agenda 21 em alusão ao século que se aproximava. Em seu capítulo 18, a Agenda 21 afirma que:

A água é necessária em todos os aspectos da vida. O objetivo geral é assegurar que se mantenha uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta, ao mesmo tempo em que se preserve as funções hidrológicas, biológicas e químicas dos ecossistemas, adaptando as atividades humanas aos limites da capacidade da natureza e combatendo vetores de moléstias relacionadas com a água. Tecnologias inovadoras, inclusive o aperfeiçoamento de tecnologias nativas, são necessárias para aproveitar plenamente os recursos hídricos limitados e protegê-los da poluição. (ONU, 1992, p. 270).

O abastecimento de água tem como base assegurar que a população atendida

tenha conforto e segurança ao utilizá-la, sem que tenha nenhum tipo de risco à saúde. O tratamento de água sendo ela de fontes, mananciais, poços, ou distribuídas por transporte, se torna essencial a vida dos seres vivos e acaba tendo impacto direto no meio ambiente (IPEA, 2005).

Sendo o abastecimento de água uma parte primordial do saneamento, será aprimorado o estudo sobre o abastecimento de água e seus sistemas e componentes.

2.2 Sistema de Abastecimento de Água (SAA)

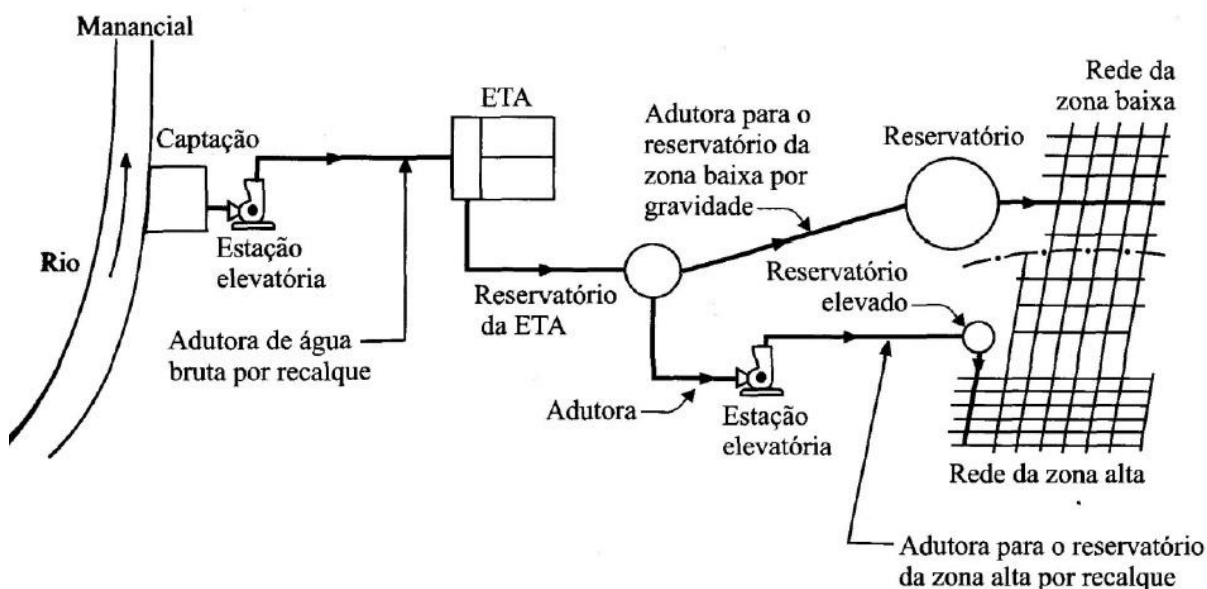
Conforme define Gomes (2004) sistema de abastecimento de água envolve tudo que leva água para fins de consumo, seja doméstico, industrial ou público, sendo que vai desde o conjunto de equipamentos, envolvendo todas as obras de execução e manutenção, bem como todos os serviços voltados para o suprimento de água. Heller (2006) conceitua que o abastecimento de água, abrange de uma forma ampla ao saneamento, e está diretamente ligado a questão de controle sobre o bem-estar físico, mental ou social do homem.

Segundo Tsutiya (2008), fatores como o porte da cidade, sua topografia e sua posição em relação à mananciais podem influenciar diretamente na viabilidade da concepção dos sistemas de abastecimento de água, e estes aspectos condicionantes devem ser previstos já no dimensionamento prévio de um SAA para que sejam definidos os parâmetros de execução do projeto adaptados ao que exige o local. Outro fator que deve ter uma análise necessária são as questões de ampliação de rede e da demanda que ela pode atingir futuramente, sendo que na maioria dos casos as redes são planejadas para períodos aproximados de 10 a 30 anos (AZEVEDO NETO et al., 1998).

Uma rede de distribuição de água deve primar por itens básicos como qualidade, quantidade, pressão e continuidade. Para que a água possa chegar tratada aos consumidores é preciso que ela passe por várias etapas, sendo que na maioria das situações os sistemas são constituídos por mananciais, captação, estação

elevatória, adutora, estação de tratamento de água (ETA), reservatório e pela rede de distribuição conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Croqui de Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: Tsutiya, (2005).

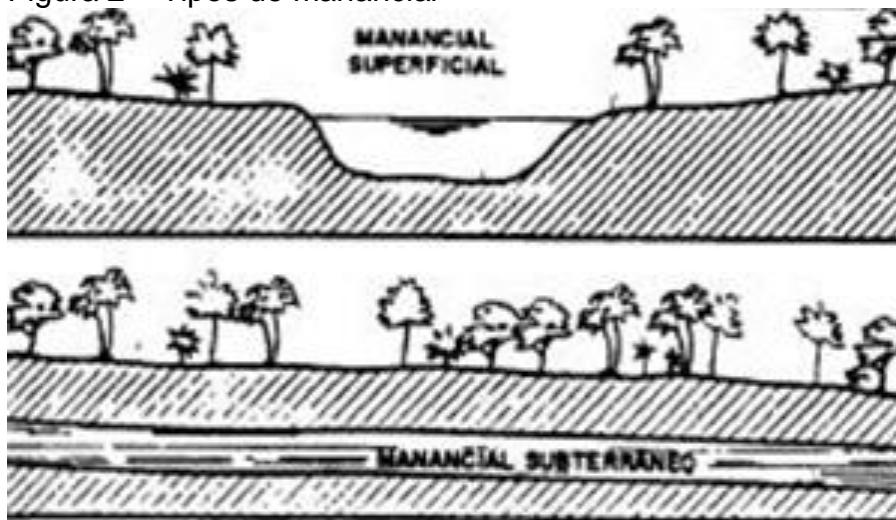
2.3 Componentes de um Sistema de Abastecimento de Água

Um sistema basicamente consiste na captação de água do manancial através de bombas de uma estação elevatória que a bombeia até uma estação de tratamento. Depois de tratada essa água é direcionada para os reservatórios que podem ser enterrados no solo ou elevados para que depois seja transportada pela rede de distribuição para o consumidor. Os componentes podem ser detalhados a seguir.

2.3.1 Manancial

Mananciais são os locais de onde a água é retirada, podem ser subterrâneos ou corpos de água superficiais conforme Figura 2.

Figura 2 – Tipos de manancial



Fonte: Adaptado pelo autor com base em Cetesb (1978).

Os mananciais têm como premissa fornecer uma água com qualidade adequada no ponto de vista sanitário e que dê vazão suficiente para atender a demanda de água projetada. Itens como volume de água, condições sanitárias, distância da área de consumo e localização dos sistemas de captação são essenciais (Tsutiya, 2005).

Para que a rede tenha bom rendimento e seja melhor projetada, com redução de gastos e bons níveis de segurança é aconselhável que sejam realizadas investigações com testes em laboratórios para averiguar a potabilidade da água (Richter; Azevedo Neto, 1991).

O Ministério da Saúde através da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, é que normatiza os padrões de turbidez, microbiológicos, ciatoxinas, de radioatividade e organoléticos, bem como padrões ligados a qualidade da saúde como substâncias inorgânicas e orgânicas, desinfetantes e agrotóxicos que são necessários para a água. Esta mesma Portaria aponta que águas de fontes subterrâneas devem passar por processos de desinfecção e águas de corpos hídricos superficiais por processos de cloração e filtração.

Em comunidades rurais na maioria das vezes são utilizados mananciais subterrâneos, que com a filtragem natural que ocorre pelo subsolo acabam sem a necessidade de tratamentos mais complexos (Gray, 1994). Estas águas geralmente são auto renováveis, sendo que o principal fator de perigo para sua qualidade é a

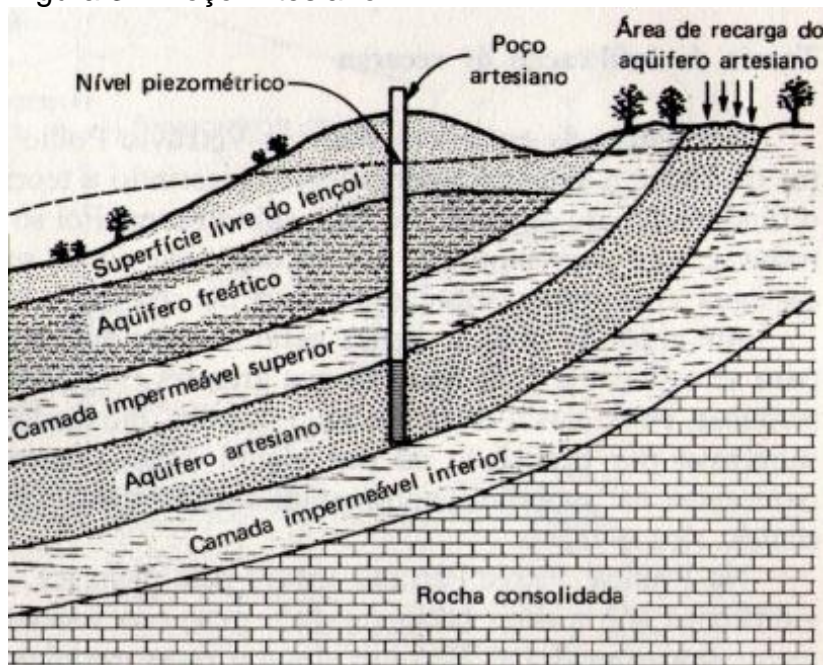
influência humana através da destruição da vegetação que afeta diretamente os recursos hídricos.

As grandes vantagens destes mananciais são o baixo custo dos poços quando relacionados com mananciais superficiais, facilitando o abastecimento de menores populações e a qualidade da água para consumo, que geralmente é boa.

2.3.2 Poços Artesianos

Hirata (2002) diz que poços artesianos são perfurações com diâmetros pequenos, escavados por furadeiras gigantes desenvolvidas pelas indústrias petrolíferas, podendo alcançar até grandes profundidades, sendo que a água jorra do solo para a superfície de forma natural devido a sua própria pressão. Quando esta pressão não é suficiente é necessária a utilização de bombas para a retirada de água. A Figura 3 mostra um croqui de poço artesiano.

Figura 3 – Poço Artesiano



Fonte: Cetesb (1978).

Poços perfurados com segurança e obedecendo as normas de segurança podem oferecer grandes benefícios para o aproveitamento da água conforme Tundisi (2003), sendo que o custo por metro cúbico é mais barato que todas

as outras formas de abastecimento, atende a todos os fins necessários, fornecem água constantemente não sofrendo com defeitos, rompimentos e cortes temporários que acontecem em outros tipos de redes e resolvem problemas de estiagem.

A norma que regulamenta a construção de poços para captação de água subterrânea é a NBR 12244 (ABNT, 1990), que fixa as condições exigidas para perfuração visando abastecimento público, sendo que só podem ser construídos por empresas que tenham habilitação cabível, com credenciamento junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) e com Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) da obra emitida pelo profissional responsável técnico.

2.3.2.1 Características de Águas Subterrâneas

Água subterrânea é um dos mais importantes suprimentos de consumo, pois precisam de pouco tratamento, pois sofrem a filtragem do próprio solo. Estas águas são classificadas em nascentes, poços rasos ou profundos, e galerias de infiltração; as que ficam na parte subterrânea são formações geológicas que armazenam e transportam água através de seus poros e espaços abertos, também chamados de fissuras ou fraturas (Philippi, 2005).

De acordo com Capucci et al. (2001), a ocupação desordenada e o mal planejamento em relação às águas de bacia hidrográficas, afeta diretamente a qualidade da água tornando-a muitas vezes imprópria para consumo. Dito isto, ele complementa que uma boa alternativa, principalmente em comunidades rurais, são as águas subterrâneas por se tratar de uma forma mais econômica e mais fácil de conseguir água para consumo humano e de animais, como também para irrigação agrícola.

A utilização de águas subterrâneas é bastante comum pois as reservas são renováveis dificultando sua extinção, podendo abranger extensas áreas e podendo se obter uma água com boa qualidade sem tratamentos onerosos, e pela pouca distância de onde é captada até onde é utilizada (Feitosa et al., 2008). A preocupação com este recurso hídrico se dá pela sua exploração crescente, e pela sua vulnerabilidade em relação a poluição e contaminação (Moura et. al., 2009).

Segundo Cavinatto et al. (2014), esta poluição significa qualquer interferência ou alteração de característica da água podendo ser natural, que geralmente ocorre por intemperismos, por dissolução de rochas que tem contato com a água, e podendo ser provocadas por ações do homem, com a utilização de compostos químicos principalmente na agricultura e de efluentes domésticos. Em áreas com produção agrícola em especial, as águas podem ser contaminadas pela lixiviação das substâncias químicas utilizadas em fertilizantes e pesticidas que penetram no solo. Outro ponto é que tanto em áreas rurais quanto urbanas, os resíduos que são depositados no solo diretamente pelo homem também podem acabar contaminando a água, pois sua capacidade em conter as impurezas é limitada.

2.3.3 Captação

A captação é o termo que define o conjunto de itens construídos para retirar a água dos reservatórios subterrâneos ou superficiais que são destinados ao abastecimento da população demandada. É primordial que se faça uma análise detalhada de itens como as condições dos locais de captação, dos custos que podem gerar desapropriações, construções e equipamentos necessários para recalcar a água dos reservatórios (AZEVEDO NETTO, 1998).

De acordo com a NBR 12213 (ABNT, 1992) a implantação de captação deve ter um estudo com as condições hidráulicas e geológicas do manancial a ser utilizado, como também de toda a área abrangida e seu entorno. Outro item a ser analisado são possíveis focos poluidores e áreas sujeitas a inundação.

A escolha de um manancial adequado e sua conservação, juntamente com a forma correta de captação da água são os balizadores do sucesso de um sistema de abastecimento de água, pois fornecem todos os suprimentos necessários para o consumo, sendo que conforme afirmam Helles e Pádua (2006), os principais fatores para instalar um conjunto de captação de água são:

- Acesso ao local de captação deve ser fácil e permanente;
- Água deve ter a qualidade aprovada pelos testes exigidos em normas;
- Atentar para a distância de abastecimento até aos locais de consumo e

o percurso de adução, bem como instalar o conjunto preferencialmente acima dos locais que serão abastecidos evitando grandes gastos com bombeamento;

- Implantação deve alterar o mínimo possível o curso de água;
- Ter vazão adequada no local;
- Todos os itens envolvidos na captação devem estar protegidos de alterações de níveis de água e de efeitos erosivos.

2.3.4 Estação Elevatória

Estações elevatórias servem para bombear a água de pontos mais baixos para pontos mais altos, e segundo Tsutiya (2005) elas podem ser usadas na fase de captação, na fase de adução, no tratamento e também na distribuição de água. Os elementos que compõem uma estação elevatória são separados em equipamentos eletromecânicos (motor e bomba), tubulações (recalque, sucção e barrilete) e construção civil (casa de bomba e poços de sucção). As estações devem ser projetadas com o máximo de cuidado, pois ela representa uma grande parte do custo do SAA, pelo elevado gasto com energia elétrica quando necessário.

Heller e Pádua (2006) afirmam que caso os fluídos pudessem ser carregados somente pela gravidade, os gastos seriam bem mais brandos, a operação e manutenção do sistema seriam menos onerosos, porém infelizmente este tipo de situação é muito difícil de ocorrer.

A NBR 12214 (ABNT, 1992) que é utilizada para projetos de estações de bombeamento estabelece que o sistema de operação da estação é condicionado à fatores como o tipo de estação, tipo de trajeto, materiais utilizados para tubulações de sucção e recalque, e vazão de projeto.

2.3.5 Adutoras

Adutoras são tubulações do conjunto de sistema de abastecimento de água que transportam a água entre as unidades que precedem a rede distribuidora do sistema, interligando a captação de água, estação de tratamento e reservatórios

sendo que não são responsáveis pela distribuição da água aos consumidores Tsutiya (2006).

A NBR 12215 (ABNT, 1991) que normatiza os parâmetros de projetos de adutoras cita como essenciais a definição do trajeto das tubulações de acordo com o que a topografia do local exigir, a determinação da vazão, o dimensionamento da parte estrutural e hidráulica, estudos de viabilidade econômica, como também os desempenhos dos elementos de segurança, manutenção e operação do sistema.

Tsutiya (2005) divide as adutoras em duas categorias, sendo que uma é pela natureza da água transportada, que se subdivide em:

- Adutoras de águas brutas que conduzem as águas que vem do corpo hídrico até a ETA;
- Adutoras e águas tratadas que conduzem águas da ETA até o reservatório.

A outra categoria é quanto ao gasto de energia de movimentação da água, que é subdividida em:

- Adutoras Mistas onde o transporte da água é segmentado entre trechos com gravidade e outros com recalque;
- Adutoras por gravidade onde a água escoar do nível mais alto para o mais baixo, sendo que em casos de conduto forçado a água terá uma pressão maior que a pressão da atmosfera, e em casos de conduto livre a água estará sob a pressão atmosférica;
- Adutoras por recalque onde a água é transportada de um nível baixo para um mais alto com auxílio de uma estação elevatória.

2.3.6 Estação de Tratamento de Água (ETA)

A estação de tratamento é onde a água bruta proveniente do recurso hídrico é tratada e regularizada conforme exigido pelas normas e padrões de potabilidade que as legislações vigentes exigem, tornando-a uma água apta para consumo sem prejudicar a saúde e também a segurança da população (Oliveira et al., 2010).

De acordo com Heller e Pádua (2006), atendendo estas exigências ela deve suprir a demanda solicitada pela localidade, e no momento em que são verificadas as questões físicas e bacteriológicas das águas dos mananciais são definidas as medidas que vão ser tomadas para adequar a água aos padrões de potabilidade.

A NBR 12216 (ABNT, 1992) classifica a água em classes (A, B, C e D) pois dependendo de sua origem ela pode apresentar diferentes qualidades e exigir tratamentos diferenciados para que possa ser disponibilizada ao consumo humano:

- Classe A são as águas superficiais ou subterrâneas protegidas;
- Classe B são as águas superficiais ou subterrâneas não protegidas, mas que mesmo sem coagulação podem se tornar potáveis;
- Classe C são as águas superficiais não protegidas que com processos de coagulação podem se tornar potáveis;
- Classe D são as águas superficiais não protegidas, que estão sujeitas a fontes poluidoras, mas com processos especiais de tratamento podem se tornar potáveis.

Como os níveis de poluição em comunidades rurais são bem inferiores aos de áreas urbanizadas, com a filtragem da água realizada pelo próprio solo, geralmente a água se encaixa na Classe A da classificação da NBR 12216 (ABNT, 1992), sendo necessário somente o processo de desinfecção da água.

2.3.6.1 Desinfecção da água

Desinfecção da água é o processo que tem por objetivo destruir microrganismos patogênicos como bactérias, vírus, protozoários e vermes que estão presentes na água (Richter; Azevedo Netto, 1991). Azevedo Netto (1998) cita também que é importante o uso de dosadores para a adição dos produtos escolhidos para tratar a água, sendo que para o processo de desinfecção os produtos mais utilizados nas redes de distribuição são cloro, cal clorada e hipoclorito de sódio.

De acordo com a Portaria de Consolidação nº 5, do Ministério da Saúde aprovada em 28/09/2017, toda e qualquer água que vai ser consumida por humanos precisa passar pelo processo de desinfecção ou cloração.

2.3.7 Reservatórios

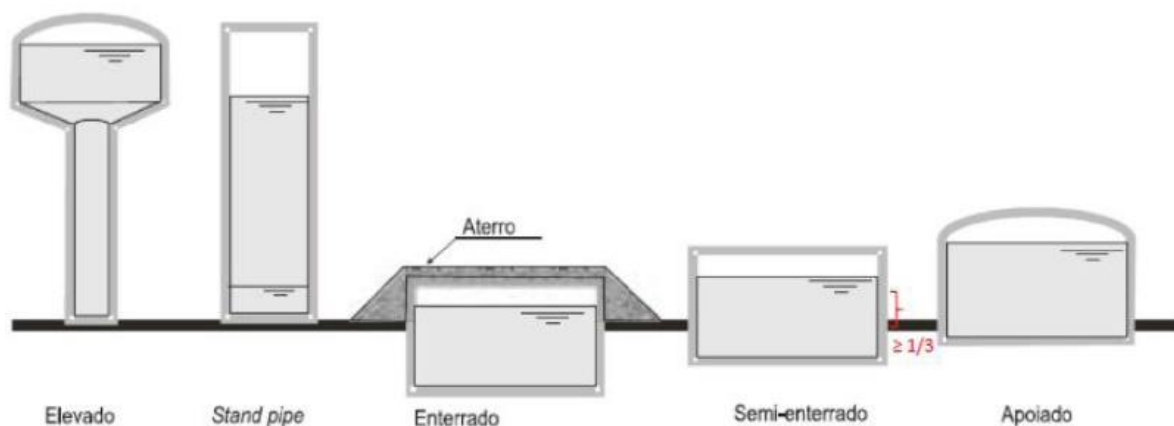
Barros (1995) diz que os reservatórios devem ser posicionados e planejados com a finalidade de abastecer os horários de pico, e dar continuidade ao abastecimento de água em casos de interrupções para manutenção em unidades como a captação, adução e nas estações de tratamento. Reservatórios contribuem também para redução de custos da rede de distribuição se localizados e planejados de forma correta.

Para Tsutiya (2006) reservatórios tem a finalidade de regularização da vazão pois podem acumular água nos momentos de demanda menor à média, para poder fornecer vazões adicionais para os momentos de demanda maior em relação à média. Outro fim de reservatórios é a regularização de pressão que dependendo do local em que ficam, podem ajudar a reduzir a pressão da rede e também reservar água extra para incêndios.

A quantidade de água que o reservatório vai receber se dá pela soma de todos os volumes úteis das unidades do sistema de uma zona de pressão específica, ressaltando que o volume útil fica localizado entre o volume máximo e mínimo de reserva. Com estes dados é possível saber o maior nível da água em momentos de condições normais, e a altura mínima de reserva de água para que não apareçam fenômenos hidráulicos como o arraste de sedimentos, cavitação e vórtices (Heller; Pádua, 2006).

Tsutiya (2005) ainda separa os reservatórios quanto à sua localização no sistema podendo ser divididos em reservatórios de montante, jusante ou de posição intermediária, e separa também quanto à localização do terreno sendo que podem ser elevados, apoiados, enterrados e semienterrados, de acordo com Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Tipos de reservatórios.



Fonte: Tsutiya (2005).

Sua forma pode ser circular ou retangular dependendo do local, dos equipamentos utilizados e do tipo de gastos que serão propostos, bem como os tipos de materiais que vão ser utilizados em sua construção, sendo que os mais utilizados são o aço, poliéster com fibras de vidro e concreto armado.

A norma regulamentadora para projeção de reservatórios de distribuição de água para abastecimento é a NBR 12217 (ABNT, 1994), que fixa as condições exigidas para sua construção.

2.3.8 Redes de Distribuição de Água

Azevedo Netto (1991) define as redes de distribuição de água como a unidade do sistema que é responsável por conduzir a água até os locais de consumo, sendo constituída por tubulações e peças especiais com o objetivo de garantir o abastecimento de quem a consome de forma segura, tendo as pressões, a quantidade e a qualidade recomendadas por normativas.

Conforme complementa Tsutiya (2006), estas redes formadas pelas tubulações e peças, que transportam a água potável até o consumo devem ser adequadas e seguir as recomendações exigidas pela norma regulamentadora vigente que é NBR 12218 (ABNT, 1994).

Existem dois tipos de canalizações que formam uma rede de distribuição, que

são a rede principal, também denominada de canalização mestra ou conduto de tronco, que tem maior diâmetro por questões de pressão e quantidade transportada e leva a água para os condutos secundários. As redes secundárias têm por objetivo distribuir a água que vem da rede principal até os pontos de consumo sendo que estas têm o diâmetro menor pois transportam menos água (Azevedo Netto, 1998).

Araújo Prince (2006) define estas redes de acordo com o traçado dos seus condutos, caracterizando-as como redes ramificadas, malhadas e mista:

- Rede ramificada (Figura 5): são as redes com traçados em forma de “grelha ou espinha de peixe”, usada em áreas mais lineares onde as ruas não estão conectadas entre si, por questões como os traçados urbanos e a topografia por exemplo.

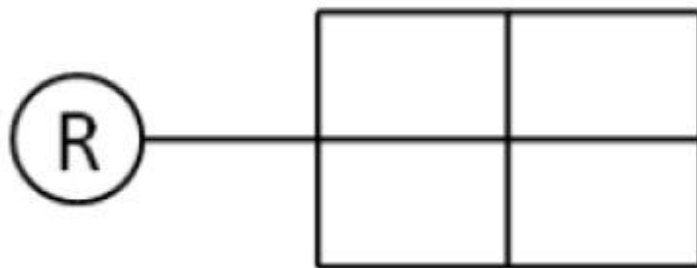
Figura 5 – Rede ramificada



Fonte: Gomes (2004).

- Rede malhada (Figura 6): são as redes com traçados em forma de blocos ou anéis que podem ser abastecidas por mais caminhos permitindo interrupções para manutenção sem alterar o consumo de água. Este tipo de rede é comum em vias que formam malhas viárias.

Figura 6 – Rede malhada



Fonte: Gomes (2004).

- Rede mista (Figura 7): são as redes com a combinação de traçados da rede ramificada e rede malhada.

Figura 7 – Rede mista



Fonte: Gomes (2004).

A NBR 12218 (ABNT, 1994) que é a base do dimensionamento de redes estipula que o diâmetro mínimo para os condutos secundários deve ser de 50 mm, a velocidade mínima não deve ser abaixo de 0,6 m/s e máxima não deve ser maior que 3,5 m/s. A Norma aponta também que a pressão estática que acontece nos pontos da rede em que não há consumo, deve ser de no máximo 500 kPa, e a pressão dinâmica que acontece nos pontos da rede em que há consumo, deve ser de no mínimo 100 kPa.

Em localidades rurais as redes que distribuem a água, na maioria das vezes são alimentadas por um único ponto, que a distribui pela tubulação principal até as ramificações secundárias que a levam para os pontos de consumo.

2.4 Perdas de Água

As perdas de água em um SAA são um dos grandes motivos de preocupação para companhias de saneamento de acordo com a International Water Association – IWA (2002).

Índice de perda de água segundo Azevedo Netto (1998) é a diferença do volume de água proveniente do reservatório e do volume total medido nos hidrômetros que chega ao consumidor final. Em uma rede de abastecimento de água é praticamente impossível chegar a um nível de perda que seja igual a zero, então o objetivo de concessionárias ou sociedades de água é minimizar a quantidade de perdas analisando se é viável economicamente aplicar as melhorias de redução, ou se é melhor investir no tratamento da água. Estas perdas são divididas em perdas reais (físicas) ou perdas aparentes (não-físicas).

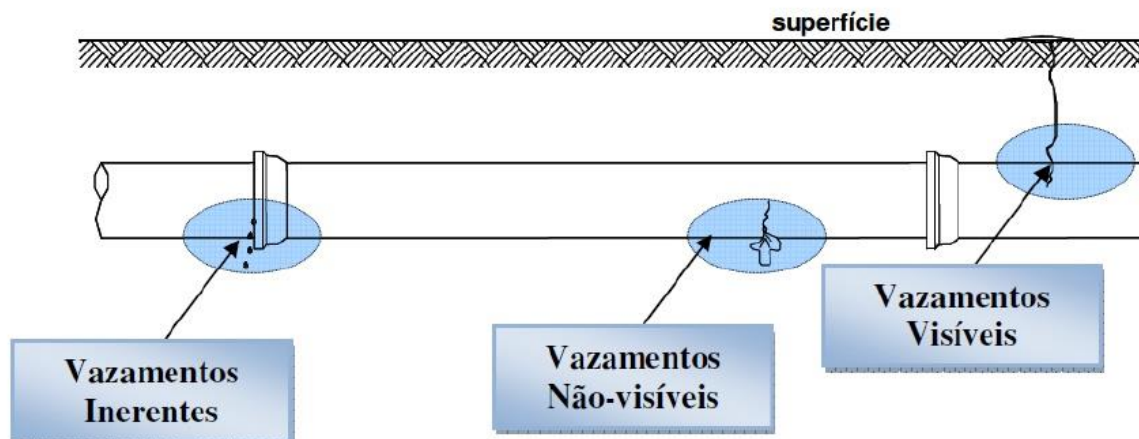
2.4.1 Perdas Reais (físicas)

Abes (2013) caracteriza as perdas reais ou de água física como volume de água perdido antes de alcançar o consumidor final, que pode acontecer por vazamentos em adutoras e em redes de distribuição, extravasamentos em reservatórios bem como em processos de manutenção, e de operação como descargas de rede e lavagem de filtros. Os principais fatores de perdas físicas são vazamentos e extravasamentos.

2.4.1.1 Vazamentos

Vazamentos são forma mais comum de perda de água, sendo que as redes de distribuição e os ramais prediais são os pontos de maior volume de perda nas estruturas de abastecimento. Lambert (2000, apud GIROL, 2008) classifica os vazamentos em três tipos principais, os inerentes, não-visíveis e visíveis conforme a Figura 8 a seguir.

Figura 8 – Tipos de vazamento em redes de distribuição de água



Fonte: Gonçalves (1998).

- Vazamentos inerentes: representam cerca de 25% dos vazamentos, que não podem ser detectados por equipamentos de acústica e não são visíveis.
- Vazamentos não-visíveis: representam cerca de 30% dos vazamentos, não podem ser detectados visualmente e não afloram na superfície, sendo mais difícil sua localização. Sua duração depende das frequências em que acontecem suas pesquisas, e suas vazões são moderadas;
- Vazamentos visíveis: representam cerca de 45% dos vazamentos, são facilmente detectados pois afloram na superfície devido às suas altas vazões combinadas com curtas durações.

As grandes perdas físicas de acordo com Tardelli Filho (2006), acontecem quando se tem o aumento de pressão na rede de distribuição, ocasionando o aumento da vazão dos pontos de vazamento e a alta frequência gerada podendo causar danos à tubulação.

2.4.1.2 Extravasamentos

Extravasamentos acontecem na maioria das vezes devido ao excesso de carregamento, e geralmente acontecem em períodos noturnos pela falta de dispositivos de alerta e falhas de controle de operação nos equipamentos existentes. Tardelli Filho (2006) ainda cita que os reservatórios possuem extravasadores que destinam a água excessiva coletada para redes de drenagem pluvial ou outro local

destinado, e estes volumes geralmente não são contabilizados nos cálculos de vazão.

2.4.1.3 Causas que Geram Perdas Reais

As perdas reais acabam sendo bastante comuns em redes de abastecimento de água. Baseado em Sabesp (2005), os itens mais recorrentes de perdas reais de água são mostrados no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Causas e ocorrências das perdas reais de água

Perdas Reais		
Vazamentos e extravasamentos em reservatórios	Vazamentos em adutoras e redes	Vazamentos em ramais
• Deficiência ou inexistência de automação de bombeamento e controle de nível de reservatórios;	• Pressões elevadas	• Pressões elevadas;
• Falhas estruturais;	• Variação da pressão (intermitências, perdas de carga elevadas, etc.);	• Transientes hidráulicos;
• Controle operacional ineficiente;	• Transientes hidráulicos;	• Variação da pressão;
• Equipamento de controle de nível inadequado;	• Má qualidade de materiais dos componentes dos sistemas;	• Má qualidade de materiais dos componentes dos sistemas;
• Registros de descarga defeituosos;		• Má qualidade da mão de obra utilizada na implantação e manutenção dos sistemas;
• Falta ou má de definição de níveis operacionais	• Má qualidade da mão de obra utilizada na implantação e manutenção dos sistemas;	• Inadequação do ferrule;
	• Falhas de operação;	• Falhas de operação;
	• Intervenção de terceiros;	• Intervenção de terceiros;
	• Corrosividade da água e do solo;	• Corrosividade da água e do solo;
	• Intensidade de tráfego;	• Intensidade de tráfego;
	• Inexistência de política de detecção de vazamentos não visíveis;	• Inexistência de política de detecção de vazamentos não visíveis;
	• Deficiência de projeto;	• Deficiência no reaterro dos ramais;
	• Instabilidade do solo.	• Falhas de manutenção.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Sabesp (2005).

2.4.1.4 Ações para Reduzir Perdas Reais

Para que se possa obter um controle e redução de perdas reais de água, são indicados quatro principais componentes:

- Agilidade de serviços com qualidade de reparos: quanto mais rápidos forem os serviços de reparo em vazamentos visíveis e não visíveis maior será a economia, sendo que a mão de obra deve ser corretamente treinada e com os materiais mais adequados para a realização do serviço.

O tempo de reparo é um dos itens do gerenciamento de perdas que as prestadoras de serviços de saneamento mais controlam, pois quanto mais rápido o reparo, menor a perda real e, conseqüentemente, as perdas totais. Além disso, o tempo de reparo está associado à imagem da prestadora perante a população, significando que quanto menor o tempo de reparo, maior a eficiência da prestadora (TSUTIYA, 2008).

A redução de perda só vai acontecer se for detectado o local de vazamento correto e o trabalho for realizado com a melhor qualidade possível para evitar reincidência e retrabalho;

- Controle de pressão: uma boa operacionalização de um SAA parte já da projeção de rede setorizando adequadamente os sistemas de distribuição, e depende de um controle efetivo das pressões, pois sempre é necessário que se atinja o mínimo necessário para abastecimento dos consumidores conforme normativa (10 mca), porém é preciso minimizar grandes altas de pressões (50 mca no máximo), e também de variação bruscas que podem ser ainda mais prejudiciais que as pressões elevadas (MELATO, 2010). Tsutiya (2008) ainda afirma que a pressão deve ter atenção redobrada por ser a principal fonte de influência para as incidências de vazamento e de suas vazões, ele ainda aponta como solução para a minimização destes problemas:

A solução para o problema de pressões é o zoneamento piezométrico, ou seja, a divisão de um setor de abastecimento em zonas com comportamento homogêneo dos planos de pressão. Esses planos piezométricos podem ser definidos pela cota do nível d'água de um reservatório, pela cota piezométrica resultante de uma elevatória, ou booster, ou de uma válvula redutora de pressão (TSUTIYA, 2008).

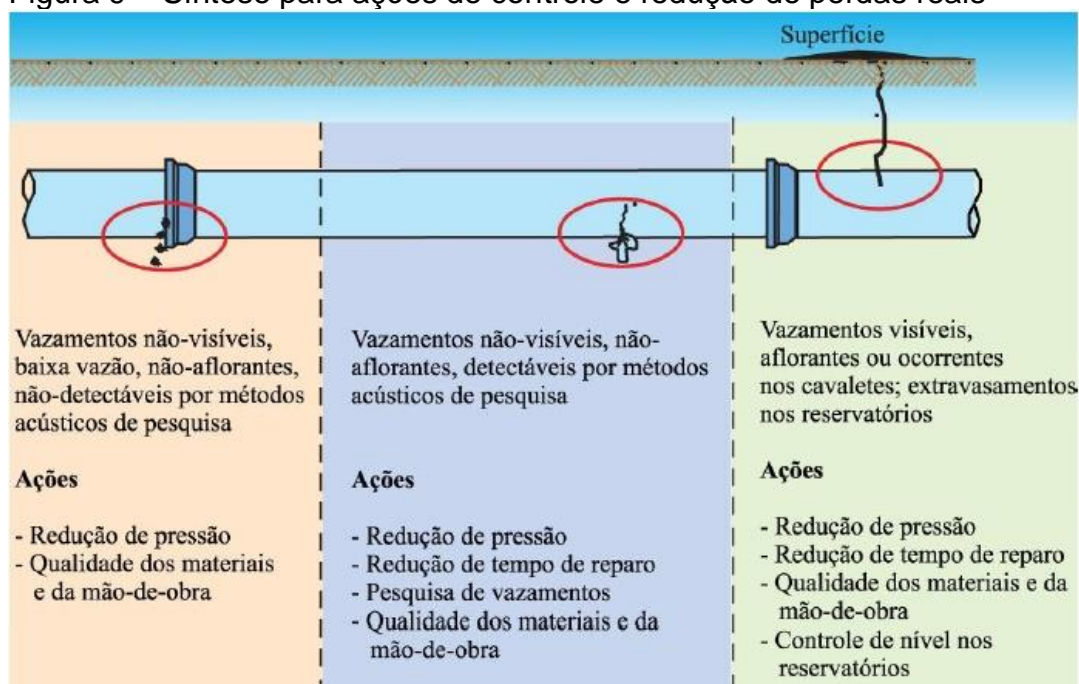
- Controle de vazamentos: a ideia do controle é reduzir o tempo de vazamento e o volume de água perdidos através de pesquisa acústica de vazamentos

não visíveis, que é a metodologia mais usada para detectar antes que aconteça o afloramento. Tsutiya (2008) ainda observa que o controle ativo vai se opor ao controle passivo, que tem por ideia reparar os vazamentos somente quando se tornam visíveis;

- Gerenciamento da infraestrutura: é vital para o funcionamento de um sistema de abastecimento de água que o gerenciamento e manutenção tenham pessoas que conheçam bem a rede para que possam identificar se as tubulações, que são o principal componente do sistema, são de determinado material, qual sua vida útil, quais reparos e manutenções preditivas e preventivas já foram realizadas.

Como complementa Tardelli Filho (2004), os três principais tipos de vazamento envolvem as três ações mais importantes que são controle de pressão, qualidade dos materiais e execução da obra, conforme é possível observar na Figura 9.

Figura 9 – Síntese para ações de controle e redução de perdas reais



Fonte: Tardelli Filho (2004).

2.4.2 Perdas Aparentes (não-físicas)

Perdas aparentes ou não-físicas são as que representam o volume de água consumido, mas que não são possíveis de ser contabilizado pelos responsáveis pela rede. Diversos fatores como erros de medição de hidrômetros e de outros tipos de medidores, ligações feitas clandestinamente, fraudes, e falhas no cadastramento de

usuários são responsáveis pela falta de registro destes volumes de água (Tardelli Filho, 2006).

2.4.2.1 Causas que Geram Perdas Aparentes

Baseado em Sabesp (2005), os itens mais recorrentes de perdas aparentes de água são mostrados no Quadro 2:

Quadro 2 – Causas e ocorrências das perdas aparentes de água

Perdas Aparentes	
Imprecisão na medição	Gestão comercial
<ul style="list-style-type: none"> • Imprecisão dos macromedidores existentes nos sistemas de produção e distribuição de água; 	<ul style="list-style-type: none"> • Fraudes (violação de hidrômetro ou qualquer violação na ligação ativa ou desativa);
<ul style="list-style-type: none"> • Má qualidade dos medidores; 	<ul style="list-style-type: none"> • Roubo de água em hidrantes ou em quaisquer pontos dos sistemas de redes de distribuição;
<ul style="list-style-type: none"> • Submedição; 	<ul style="list-style-type: none"> • Inexistência de hidrometração das ligações;
<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionamento inadequado do medidor; 	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiência nos sistemas e nas rotinas comerciais na apuração dos consumos;
<ul style="list-style-type: none"> • Detritos nas redes de distribuição; 	<ul style="list-style-type: none"> • Falha do cadastro comercial;
<ul style="list-style-type: none"> • Envelhecimento do parque de hidrômetros; 	<ul style="list-style-type: none"> • Política tarifária (tarifas mais elevadas para consumos maiores que podem favorecer fraudes, ou tarifas fixas para favelas, que não favorecem o uso racional da água;
<ul style="list-style-type: none"> • Inclinação dos hidrômetros. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de acompanhamento e controles sistematizados dos consumos medidos faturados.

Fonte: Adaptado pelo autor com base em Sabesp (2005).

O item imprecisão na medição ainda pode ser dividido em macromedição, que mede a pressão, vazão e nível dos reservatórios, podendo ser permanentes ou não, e podendo ser à distância ou no local; estas medições acontecem desde o manancial passando pela rede de distribuição da água até o consumidor final. Tardelli Filho (2006) cita que os principais fatores de erros em macromedições são a instalação inadequada, dimensionamento falho operando em baixa velocidade, problemas de transmissão de dados e grandes diferenças de vazão máxima e vazão mínima.

A micromedição mede o volume de água que é consumido pelo cliente através de um aparelho chamado hidrômetro que é instalado em todos os imóveis e que com

o passar do tempo apresenta um decréscimo nos níveis de precisão. Tardelli Filho (2006) analisa que os principais fatores de erros em micromedidas são ocasionados pelo envelhecimento dos hidrômetros, desgastando peças internas com a água que vem das tubulações, que vão sendo afetadas pela corrosão, trazem óxido afetando sua qualidade.

Ações de combate ao desperdício e utilização de medidores da forma correta são importantes para reduzir as perdas e consequentemente aumentar a receita de quem administra a rede.

2.4.2.2 Ações para Reduzir Perdas Aparentes

Morais e Almeida (2007) afirmam, que é necessário pesquisar possíveis soluções para minimizar os problemas de manutenção nas redes através de uma estratégia específica de gestão de perdas.

A redução de perdas aparentes em um sistema de abastecimento de água é fundamental principalmente pelo impacto financeiro que pode acarretar e para que se possa obter um controle, sendo que são indicados quatro principais componentes conforme Tsutiya (2008):

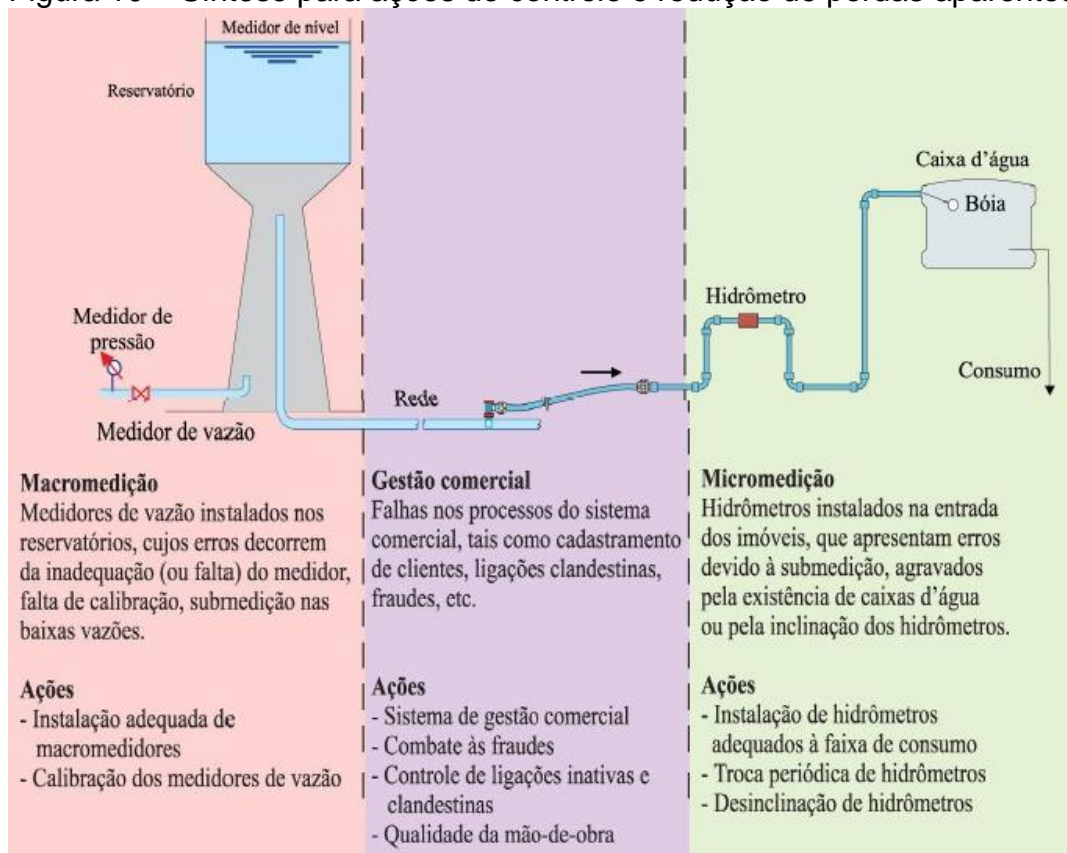
- Atenção com fraudes e ligações clandestinas: nos dias atuais a questão de inspeção melhorou bastante diminuindo fraudes envolvendo ligações suspeitas do consumo de água. Esta inspeção é importante pois quando não é feita de forma rígida, a empresa se mostra frágil tornando a ação de fraudadores mais repetida. As formas mais comuns de denúncias ainda são feitas por pessoas que habitam as imediações, por profissionais que fazem as leituras dos hidrômetros e notam indícios fortes de alterações, e de análises dos históricos de consumo de determinada ligação;
- Melhorias na comercialização: o aperfeiçoamento das equipes que trabalham com os cadastros das ligações e apuram o consumo dos clientes é denominada de gestão comercial, e envolve todos os mecanismos que permitem quantificar os consumos de água, bem como calcular todos os faturamentos da rede;
- Qualificação da mão de obra: é importante observar que o treinamento e especialização da mão de obra podem gerar grandes economias, pois profissionais

que farão as leituras dos hidrômetros, que vão manter, calibrar e instalar os medidores, e gerir a rede podem reduzir os erros e aprimorar o sistema. Essa profissionalização dos trabalhadores e responsáveis pela rede faz com que se torne mais fácil encontrar possíveis falhas da rede e nas suas ligações, e também facilita a contabilidade de tudo o que é consumido;

- Redução da imprecisão dos medidores: as principais ações com a redução de erros dos medidores são o dimensionamento e especificação de forma adequada dos medidores no sistema adutor, do sistema distribuidor até os consumidores, sua instalação de forma correta, a prevenção e correta manutenção dos hidrômetros, bem como também a leitura dos hidrômetros da forma correta.

De acordo com Tardelli Filho (2004), as prestadoras de serviço de gestão de SAA que pretendem controlar e reduzir as perdas aparentes, podem adotar medidas preventivas e corretivas conforme Figura 10.

Figura 10 – Síntese para ações de controle e redução de perdas aparentes



Fonte: Tardelli Filho (2004).

2.4.3 Índices de Perda

Os índices de perda são a forma de avaliar os volumes perdidos, e também comparar seus resultados com outros sistemas de abastecimento. O principal fator que se exige destes índices é que sejam confiáveis para que quem gerencia e mantém uma rede possa tomar as decisões corretas no sentido de redução e controle de perdas (Miranda, 2002).

Conforme Tardelli Filho (2006) estes indicadores podem ser:

- Indicador Percentual: que relaciona o volume total de perdas (reais ou físicas) com o volume de água disponibilizado ao sistema em bases anuais. Esta forma de calcular os índices é a mais utilizada e de mais fácil compreensão;
- Índice de Perdas por Extensão de Rede: que relaciona o volume total de perdas anuais com o comprimento da rede de distribuição. Este índice distribui as perdas ao longo da extensão de rede, e pode apresentar altos valores quando tiver uma alta ocupação urbana;
- Índice de Perdas por Ramal: que relaciona o volume total de perdas anuais com o número médio de ramais existentes. Este indicador tem por foco os ramais e acaba dependente da densidade dos ramais existentes, então existem ressalvas pois não considera a pressão operacional do sistema como uma variável na comparação do seu desempenho, que acaba influenciando o comportamento de perdas reais;
- Índice Estrutural de Perdas: é o índice mais atual para avaliar sistemas de perdas, e também compara sistemas distintos. A relação é dada por um número adimensional obtido da relação do nível atual de perdas e do nível mínimo de perdas esperado pelo sistema que se caracterizam como perdas inevitáveis.

2.5 Sistemas de Simulação Hidráulica

Desde muito tempo antes da era da informática já se estudava, projetava e executava projetos de sistemas de abastecimento e distribuição de água, porém isto se fazia manualmente e de forma experimental utilizando ábacos e escalas logarítmicas para simplificar as expressões matemáticas, não obtendo muitas vezes

a precisão mínima para eficácia (Olaia, 2012). Em 1936 na cidade de Chicago –EUA, na Universidade de Illinois, foi desenvolvido por Hardy Cross o primeiro modelo sistemático para cálculos de condições de equilíbrio para sistemas de distribuição de água, chamado de Método Hardy-Cross (Cross, 1936).

Com o surgimento dos computadores, e com o avanço da engenharia de *Softwares* foram surgindo programas capazes de calcular com mais velocidade e precisão, sendo que com o passar dos anos a evolução de simuladores e calibradores hidráulicos é substancial (Rocha et al., 2009). Apesar deste crescimento, no Brasil poucos programas deste tipo são empregados em casos reais de cálculos de perda de água.

A definição de modelos hidráulicos é dada como um *software* simulador de cálculo, que mediante determinadas solicitações descreve o comportamento do sistema. De acordo com Coelho et al. (2006), um modelo de simulação é formado pelo conjunto de dados das características físicas do sistema, das solicitações desejadas e de suas condições de operação, como também o conjunto de equações que vão reproduzir o comportamento hidráulico de todo sistema bem como de seus componentes individuais.

As simulações podem ser usadas para planejar e projetar uma rede, e na utilização fornece dados para operação, manutenção e reabilitação dos sistemas. Um *software* simulador pode resolver equações de continuidade e energia com base em dados fornecidos, e pode se garantir que quanto maior a qualidade dos dados obtidos, maior será a precisão da simulação (Fernandes; Marques, 2011). É importante a coleta de dados da forma correta contendo desde os trechos até os acessórios da rede, como por exemplo registros, válvulas, reservatórios, redutores de pressão, entre outros.

Existem diversos simuladores que modelam um SAA, dentre os principais é possível citar o Epanet, Watercad, Hidrocad e Strumap, sendo que a escolha do programa a ser utilizado vai depender de qual tipo de projeto que será adotado. Para este trabalho foi escolhido o Programa Epanet pois é de domínio público, não tendo custos para adquiri-lo, e é o programa mais utilizado em nível nacional com vários fóruns de discussão sobre sua utilização na internet. É confiável nos processos de

cálculo, e compatível com programas de importação para Cad.

2.5.1 Epanet 2.0

O Epanet é um *software*, criado pela Environmental Protection Agency (EPA) dos Estados Unidos, simulador hidráulico e de qualidade da água, que permite ao usuário simular o comportamento hidráulico estático e dinâmico em redes de distribuição de água pressurizadas. Por ser gratuito e por ser bastante analisado, testado, e também por apresentar dados confiáveis, o Epanet é um programa bastante utilizado (Rossman, 2000).

Gomes (2004) afirma que partindo dos dados topográficos (medidas de comprimento, e cotas dos nós de rede) e das características que compõem a rede (tipo de material, espessuras das tubulações e demanda dos nós) se obtém os valores de perda de carga, vazão e velocidade em cada um dos trechos simulados, como também a pressão e carga hidráulica em cada nó ao longo do percurso. Para cálculos de perda de carga, o programa apresenta três possibilidades, que são as equações de Hazen-Williams, de Chezy-Manning e de Darcy-Weisbach.

Além disto, Gomes (2004) ainda aponta os principais conjuntos de ferramentas de cálculo para a simulação hidráulica do Epanet:

- Calcula a energia necessária e bombeamento, incluindo seus custos;
- Inclui as perdas de carga em curvas, reduções, ampliações, entre outros;
- Modela a relação entre pressão e vazão efluente dos dispositivos emissores;
- Modela reservatórios de água em diversos níveis e com formas geométricas variadas;
- Modela vários tipos de válvulas, incluindo as de seccionamento, retenção, vazão e reguladoras de pressão;
- Não há um número limite de componentes da rede para análise;
- Possibilita a simulação em vários formatos de regras de operação do sistema;
- Possibilita estabelecer várias categorias de consumo nos nós, cada uma

com sua variação com o tempo;

- Simula bombas, com funcionamento de velocidade fixa ou também variável.

2.5.2 Calibradores dos Modelos de Simulação

Walski (2001) define a calibração como o processo que compara as observações feitas em campo com os resultados das simulações. Este processo inclui também itens como mudanças nas demandas do sistema, alteração de características que as bombas são operadas, ajustes da rugosidade das tubulações, e outros ajustes que afetam as simulações.

Dias (2000) aponta que os principais objetivos da calibração de modelos simuladores visam estabelecer modelos credíveis, criar termos para poder gerar comparações, gerar instrumentos de previsão, acumular conhecimento para compreender cada vez mais como funciona um sistema, e possibilitar que sejam encontrados mais facilmente erros de construção para manutenção e trocas. Ele ainda frisa que a calibração de um modelo de simulação de seguir etapas elencadas da seguinte forma:

- Identificar a utilização pretendida para o modelo;
- Apontar estimativas iniciais dos parâmetros do modelo;
- Coletar o máximo de dados possíveis para calibração;
- Avaliar resultados do modelo;
- Executar uma macro-calibração;
- Realizar análise de sensibilidade;
- Executar uma micro-calibração.

Estudos realizados, mostram que os principais fatores geradores de diferenças dos resultados obtidos com as observações de campo com os resultados da aplicação dos simuladores são:

- Dados como diâmetro e comprimento de redes incorretos;
- Equipamentos de medição inadequados;

- Erros de registro no sistema operacional;
- Erros na modelagem dos parâmetros;
- Incorreções em itens como válvulas redutoras de pressão, curvas de bombas e níveis de água dos reservatórios;
- Leituras erradas dos instrumentos;
- Limites de zona de pressão definidas incorretamente;
- Rede dimensionadas com geometria incorreta.

2.5.3 Avaliação de Custos dos Projetos

Estudos sobre perdas de água e de energia dos sistemas de abastecimento tem vital importância para eficácia de uma rede; estes fatores quando bem administrados podem gerar boas economias para gestores de redes de água e seus contribuintes. Conforme Gomes (2004), todo sistema que obtiver os estudos de viabilidade técnica de instalação, operação e manutenção, bem como ambiental, prevendo ações físicas e operacionais vai gerar uma administração economicamente sustentável, diminuindo a chance de ter problemas em sua rede.

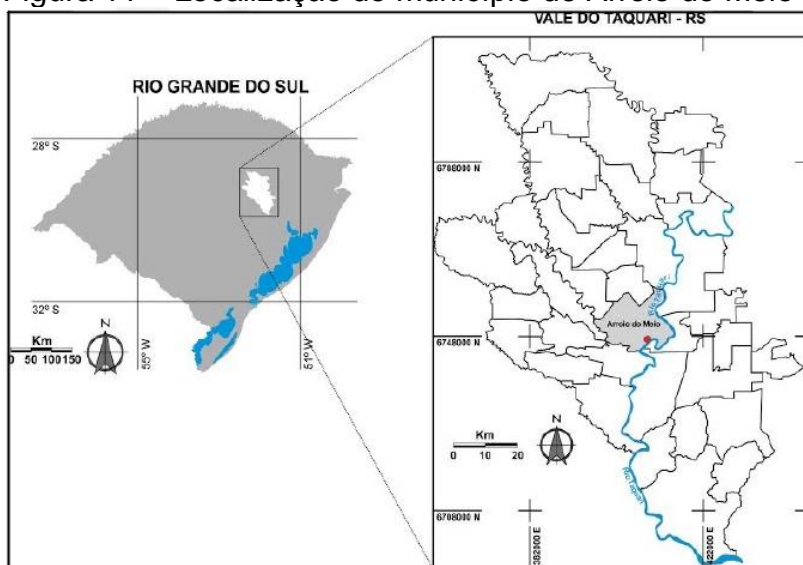
3 METODOLOGIA

Neste capítulo são abordados os materiais e métodos que foram utilizados para atender os objetivos propostos neste trabalho, que tem por finalidade mapear um sistema de abastecimento de água para fins de registro da rede, visando localizar os pontos principais de perdas para que pudessem ser propostas melhorias para atendimento aos seus consumidores, e que a rede se torne menos onerosa, sempre de acordo com o que é exigido pelas normas municipais e nacionais.

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo aconteceu no Bairro de Dona Rita, no município de Arroio do Meio, localizado na região central do Vale do Taquari e estando a 125 km distante de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul (BR), conforme Figura 11.

Figura 11 – Localização do município de Arroio do Meio



Fonte: Eckhardt et al. (2011).

O município faz limites administrativos pelo Norte com as cidades de Capitão e Encantado, pelo Sul com Estrela e Lajeado, pelo Leste com Colinas e Roca Sales onde é banhado pelo Rio Taquari, e pelo Oeste com Marques de Souza e Travesseiro (Thomas, 2011). Com uma população estimada de 20.637, com aproximadamente 26% desta morando em áreas rurais, em uma área de 157,508 Km² de acordo com IBGE (2018).

A Sociedade de água fica no Bairro de Dona Rita, e abrange alguns moradores das localidades vizinhas de Arroio Grande e de Bela Vista, tem coordenadas de Latitude 29,36° Sul e Longitude 51,95° Oeste, ficando a 3,7 Km do Bairro Centro de Arroio do Meio – RS, no caminho de quem vai ao município de Capitão, na Figura 12 é apontado o Bairro Dona Rita.

Figura 12 – Localização do Bairro de Dona Rita



Fonte: Adaptado pelo autor com base no Google Earth (2019).

3.2 Levantamento de Dados

Para o levantamento de dados da rede de distribuição de água foi realizada uma pesquisa documental usando diversas fontes como o município, IBGE, SNIS entre outras. Já a pesquisa de campo foi executada em caráter exploratório, com levantamento de dados no local (Marconi; Lakatos, 2008).

3.2.1 Pesquisa documental

A pesquisa documental pôde ser realizada através de pesquisas por sites para obter mapas e dados junto ao município de Arroio do Meio e IBGE, e também de referências antigas e atas colhidas junto à moradores da região.

Fundada no ano de 1980 por moradores locais, devido a dificuldades como a distância da rede mais próxima existente e custos que envolveriam a operação de trazer todo encanamento até a localidade, onde provavelmente ainda teria problemas com pressões e vazões, a sociedade formada por estes moradores optou por ter um sistema de abastecimento próprio. A sociedade é composta por 28 famílias associadas sendo que 23 destas são consumidoras ativas; o sistema é composto por um poço com 65 metros de profundidade que abastece os consumidores por aproximadamente 3.500 metros de rede de tubulação, variando entre bitolas de 25 mm a bitolas de 50 mm durante sua extensão. Na Figura 13 a seguir é marcada a delimitação aproximada da rede de água.

Figura 13 – Indicação do traçado atual da rede de distribuição de água



Fonte: Adaptado pelo autor com base no Google Earth (2019).

O desafio encontrado, conforme os responsáveis pelo gerenciamento e manutenção da rede são as perdas de água que acontecem em sua extensão, e como fazem mais de 20 anos que as mesmas pessoas são responsáveis por estes

controles. Por isso a demanda por fazer um mapeamento minucioso, apontando todos os itens e locais dos principais problemas da rede, e de propor através de simulações via *software* Epanet 2.0 as melhorias que podem diminuir as perdas e os custos da rede de distribuição de água.

3.2.2 Pesquisa de Campo

Para pesquisa de campo foi utilizado um GPS Garmin 62s, percorrendo a estrutura física da rede de abastecimento de água, para fazer o levantamento de todos os pontos do sistema “in loco”. Os responsáveis pelo gerenciamento e manutenção indicaram o percurso por onde passa a rede atualmente, usando também técnicas de observação e registros fotográficos para poder descrever e detalhá-la corretamente. Esta pesquisa visou caracterizar as condições do poço de onde é captada e aduzida a água, como também de toda extensão da rede.

3.3 Mapeamento da Rede de Abastecimento de Água

Após coletados os dados, foi feita a transferência destes para o computador, para que através do programa Autocad 2016 (que é um *software* desenvolvido pela empresa Autodesk, que é difundido em todas as partes do mundo para a execução de mapas topográficos planialtimétricos e agiliza processos que eram bem lentos e trabalhosos) pudesse ser realizado o mapeamento contando com a ajuda de imagens do Google Earth.

A montagem no Autocad foi baseada nos mapas, encaixando os trechos coletados, bem como pontos de tomada, reservatórios, bomba, e todas as peças que constituem uma rede de abastecimento. A simbologia utilizada no mapeamento para demonstrar cada item de rede, é a mesma que a Corsan utiliza para dimensionar e projetar as suas redes, conforme é possível observar na Figura 14.

Figura 14 – Simbologia utilizada para a representação da rede

REDE E PEÇAS ESPECIAIS			
	EXISTENTE	CONST. ATUAL	CONST. FUTURA
REDE PRINCIPAL			
REDE SECUNDÁRIA			
ADUTORA DE ÁGUA BRUTA			
REGISTRO ABERTO			
REGISTRO FECHADO			
REGISTRO DE DESCARGA			
REDUÇÃO			
HIDRANTE			
TANQUE DE ALIM. UNIDIRECIONAL			
CÂMARA HIDROPNEUMÁTICA			
VÁLV. REDUTORA DE PRESSÃO			
VÁLV. DE RETENÇÃO			
VÁLV. REGULADORA DE NÍVEL			
VÁLV. CONTROLE DE PRESSÃO			
VENTOSA			

CONEXÕES					
CRUZETA				CURVAS 90°, 45°, 22°	
TEE		SECCIONAMENTO DE REDE		DIVISOR DE ZONAS	
LUVA DE CORRER		ADAPTADOR		INDICAÇÃO DE DISTRITO	
CAP. PLUG (Terminal)		VAZÃO DE EXTREMIDADE		INDIC. DE ZONA DE PRESSÃO	
REDUÇÃO					

Fonte: Corsan (2019).

Dentre os itens mais utilizados em mapeamentos é possível destacar as linhas contínuas de espessura maior que representam as redes principais e as de espessura menor que representam as redes secundárias, como também os símbolos de registros, reduções, curvas, tes, luvas de correr e intersecções.

3.4 Dimensionamento da Rede de Abastecimento de Água

Para o dimensionamento da rede de distribuição de água, foram usadas planilhas eletrônicas para realizar os cálculos necessários com os dados obtidos com as pesquisas bibliográficas e de campo, junto com o mapeamento. As planilhas utilizadas são as da Microsoft Excel 2016, da empresa Microsoft que usa o formato x/s. para difundi-las no mundo.

O projeto de dimensionamento de abastecimento de água visa alcançar uma melhor racionalidade econômica nos custos de investimentos de operação, levando em consideração o conjunto de dados necessários para suprir a necessidade da quantidade de água requerida ao sistema, a disponibilidade hídrica da região, as restrições hidráulicas do abastecimento, e também a topografia de todo o terreno trabalhado e as restrições com relação aos possíveis impactos ambientais.

3.4.1 Elementos Básicos para Dimensionamento

Com a definição do local e dos trechos da rede, foi realizado o cálculo de vazão máxima diária requerida para atendimento da demanda conforme a Equação 1:

(1)

$$Q = \frac{P \times q}{3600 \times h} \times k_1 \times K_2$$

Onde:

Q – Vazão máxima diária (m³/s);

P – População abastecida;

q – Consumo per capita;

h – 24 horas em um dia;

k₁ – coeficiente do dia de maior consumo (1,2);

k₂ – coeficiente da hora de maior consumo (1,5);

Após encontrarmos a vazão máxima diária, foi feita sua divisão pela extensão da rede, para então encontrar a vazão por metro linear, conforme Equação 2:

(2)

$$Q_{linear} = \frac{Q}{L_{total da tubulação}}$$

Onde:

Q linear – Vazão por metro linear (m³/s);

L – Extensão total da rede (m);

A vazão de marcha para cada trecho foi calculada conforme Equação 3 que segue:

(3)

$$Q_{marcha} = Q_{linear} \times L_{trecho}$$

Onde:

Q_{marcha} – Vazão em marcha (m³/s);

L_{trecho} – Extensão do trecho (m);

O próximo passo foi encontrar a vazão de jusante que é sempre a vazão de fim de cada trecho no sentido do fluxo de água, a vazão montante que é a soma da jusante com a vazão de marcha de cada trecho analisando a planta de mapeamento disponibilizada. Com as vazões de cada trecho calculou-se a vazão fictícia de acordo com a Equação 4:

(4)

$$Q_{ficticia} = \frac{Q_{mon} + Q_{jus}}{2}$$

Onde:

$Q_{ficticia}$ – Vazão fictícia de cálculo (m³/s);

Q_{mon} – Vazão montante do trecho (m³/s);

Q_{jus} – Vazão jusante do trecho (m³/s);

3.4.2 Cálculo de Diâmetros

Os diâmetros utilizados em redes de distribuição de água são baseados na NBR 12218 (ABNT, 1994), que é a norma que estabelece um calibre mínimo para a distribuição sem que haja perdas excessivas no sistema, comprometendo a uniformidade de pressão e vazões que serão disponibilizadas aos consumidores. A lista de diâmetros normatizados é de acordo com a Tabela 1:

Tabela 1 – Especificação de diâmetros utilizados em SAA

DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE MÁXIMA (m/s)	VAZÃO (L/s)
50	0,5	1
75	0,5	2,2
100	0,6	4,7
150	0,8	14,1
200	0,9	28,3
250	1,1	53,9
300	1,2	84,8
350	1,3	125
400	1,4	176
450	1,5	238
500	1,6	314
550	1,7	403
600	1,8	509

Fonte: Adaptado pelo autor com base na NBR 12218, ABNT (1994).

3.4.3 Cálculo de Velocidades

Para obter as velocidades da tubulação em cada trecho delimitado foi utilizada a fórmula que divide a vazão fictícia pela área transversal da tubulação conforme Equação 5 a seguir:

(5)

$$v = \frac{Q_{ficticia}}{\frac{\pi \times (D_m)^2}{4}}$$

Onde:

v – Velocidade (m/s);

D – Diâmetro do trecho da tubulação (m);

A velocidade mínima recomendada pela NBR 12218 (ABNT, 1994), exige que haja uma permanente circulação de água na rede, para que não tenha prejuízos de qualidade com a água tratada para os consumidores, bem como não ultrapasse a velocidade máxima para que não ocorram danos com excesso de pressão. A norma estabelece os valores de no mínimo 0,6 m/s e no máximo 3,5 m/s

3.4.4 Cálculo de perdas de carga

Neste modelo de projeto foi utilizada uma equação empírica para representação das perdas de cargas ao longo das tubulações com o escoamento permanente e uniforme em regime turbulento, mais conhecida como fórmula de Hazen-Williams como mostra a Equação 6, que possui como incógnitas a vazão, que neste caso se utilizou a fictícia de cada trecho, o diâmetro interno da tubulação e o coeficiente de rugosidade das paredes do tubo que para este tipo de rede se utiliza o valor de 140.

(6)

$$hf = 10,65 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,87}$$

Onde:

hf – Perda de carga unitária (m/m);

Q – Vazão fictícia tubulação (m³/s);

C – Coeficiente de rugosidade (140);

D – Diâmetro do trecho da tubulação (m);

A perda de carga por cada trecho é definida pela Equação 7:

(7)

$$hft = hf \times L \text{ do trecho}$$

Onde:

hft – Perda de carga em cada trecho (mca);

L trecho – Extensão do trecho (m);

As perdas de cargas serão maiores ou menores variando de acordo com o sentido de água de cada trecho calculado.

3.4.5 Determinação das Cotas do Terreno e Cotas Piezométricas

As cotas do terreno foram determinadas através da análise e interpretação da planta planialtimétrica no Anexo A da área de estudo, na qual foram localizados cada trecho da rede e seus respectivos nós. A indicação das terminologias de vazões montante e jusante foi realizada conforme sentido de fluxo da água na rede.

Para obter as cotas piezométricas a NBR 12218 (ABNT, 1994) determina que no ponto de maior elevação do terreno obrigatoriamente necessita-se de 10 mca (pressão mínima requerida para o sistema), e a partir disso são calculadas as cotas piezométricas de montante e jusante em função das perdas de carga para cada trecho, como mostram as Equações 8 e 9:

(8)

$$\text{Cota piezométrica jusante} = \text{Cota piezométrica montante} \pm hf \text{ do trecho}$$

(9)

$$\text{Cota piezométrica montante} = \text{Cota piezométrica jusante} \pm hf \text{ do trecho}$$

3.4.6 Determinação das Pressões Disponíveis

Para fins de dimensionamento na rede de abastecimento foram calculados os valores disponíveis de pressões para cada trecho em seus pontos de jusante e montante para suprir a necessidade em cada final de trecho, que de acordo com a NBR 12218 (ABNT, 1994) é de 10 mca.

Para fins de cálculos, com os valores das cotas piezométricas e cotas do terreno de montante e jusante de cada trecho, se obtém a pressão com a diferença das cotas montante e jusante de cada uma delas, de acordo com as Equações 10 e 11:

(10)

$$\text{Pressão disponível montante}$$

$$= \text{Cota piezométrica montante} - \text{cota do terreno montante}$$

(11)

Pressão disponível jusante

= Cota piezométrica jusante – cota do terreno jusante

3.5 Simulação de Rede com Epanet 2.0

Os dados obtidos através da medição com GPS foram utilizados no programa Epanet 2.0 para ser feita uma simulação com o objetivo de diagnosticar as incorreções da rede, e para que fosse possível buscar alternativas que melhorem a performance e eficiência do sistema.

A primeira utilização da simulação foi para a rede atual a fim de constatar os principais locais de perda de água, podendo após isso se fazer simulações para melhorar o abastecimento, possibilitando reparos estratégicos que aumentam a eficiência da rede, e diminui as perdas e gastos com manutenções e trocas. E para projeção de uma nova rede a utilização do programa é importante como auxiliar e como comparativo com as tabelas de cálculo que também são apresentadas neste projeto.

Para as simulações foram utilizados os dados recolhidos em campo para definir itens como propriedades dos nós da rede e das tubulações dos trechos percorridos da rede, propriedades do conjunto motor-bomba, bem como das cotas de nível do terreno.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos sobre a rede de água estudada, mostrando como foi realizado o mapeamento e fazendo um diagnóstico da situação atual da rede, para na sequência indicar possíveis soluções para melhor rendimento do sistema.

4.1 Diagnóstico da Rede Atual

De acordo com o que foi proposto, a medição da rede existente foi realizada através de um aparelho GPS da marca Garmin 62s sendo o trajeto percorrido e demonstrado “*in loco*” pela pessoa responsável por sua manutenção conforme Figura 15.

Figura 15 – Responsáveis pela medição da rede de água



Fonte: Autor (2019).

A rede foi executada pelos próprios moradores, sendo que as bitolas em sua extensão variam de diâmetros de 25 a 50 mm, não atendendo o que é indicado pela NBR 12218 (ABNT, 1994), que estabelece diâmetros mínimos de 50 mm. Os responsáveis pelo gerenciamento e manutenção optaram por utilizar tubos de PVC, que tem o custo mais baixo, devido ao pouco peso, facilitando assim seu transporte e instalação. A rede foi executada variando trechos enterrados no solo com outros que ficam aparentes, conforme a Figura 16, facilitando o acesso para ações de consertos em casos de vazamentos ou falhas da rede.

Figura 16 – Tubulação de canos PVC

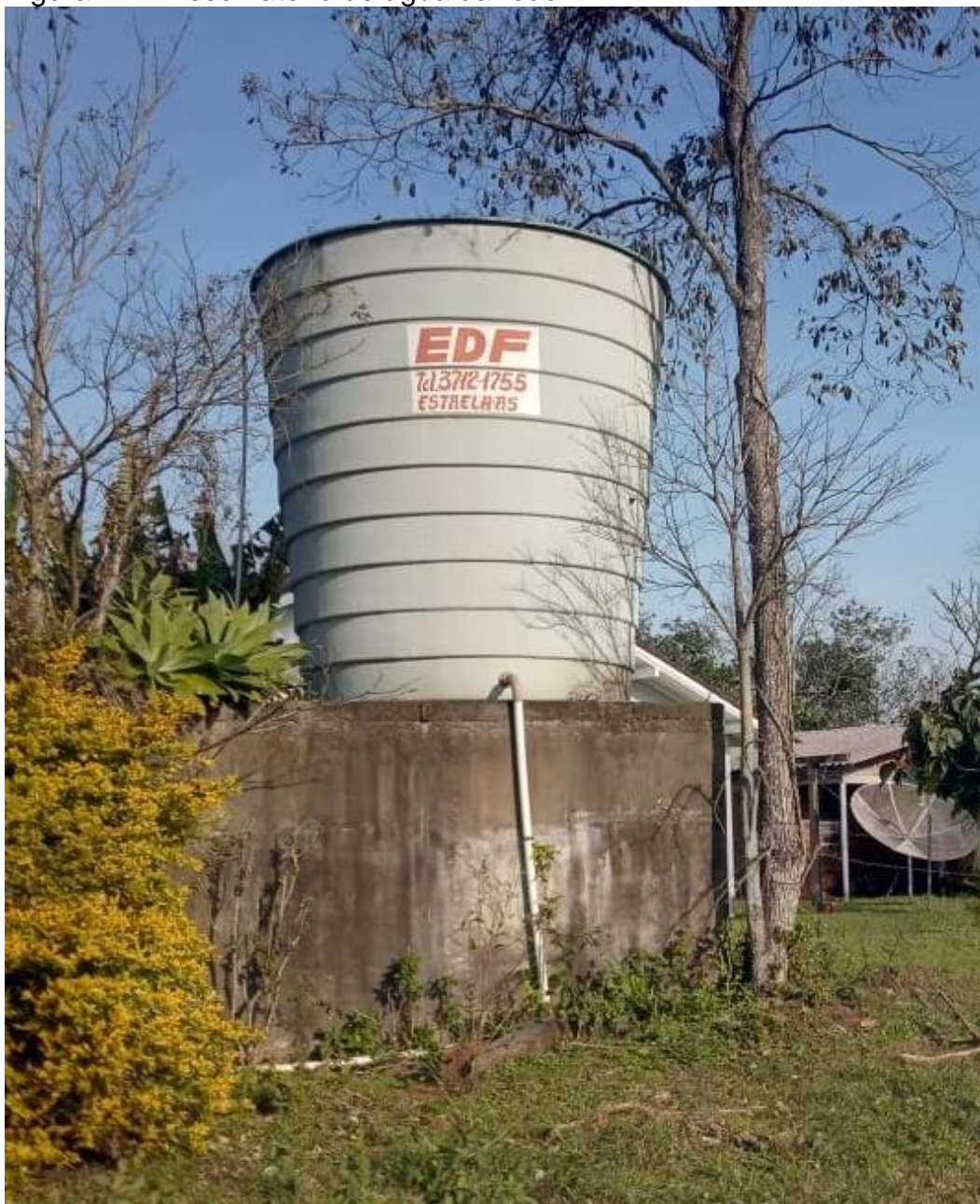


Fonte: Autor (2019).

Os valores de perda de água, que são muito importantes em um sistema de abastecimento de água, no caso da rede estudada não podem ser detalhados, pois foram instalados hidrômetros na entrada de água de cada ponto de consumo, porém na saída do reservatório não há nenhum hidrômetro para que possa ser feita uma medição da quantidade de água que sai do reservatório para a rede, dificultando assim qualquer medição de perda de água do sistema. Os responsáveis pela manutenção da rede relatam que a perda de água é baixa, devido ao pequeno número de usuários e ao baixo índice de consumo da rede.

O sistema é abastecido por um reservatório de água de fibra com capacidade de 20.000 litros, com um diâmetro de 3,20 metros, e altura de 3,65 metros, localizado na cota de nível de 76,00 metros, que fica em cima de uma estrutura de concreto com 2,00 metros de altura, de acordo com a Figura 17.

Figura 17 – Reservatório de água da rede



Fonte: Autor (2019).

A Tubulação que leva a água do poço de captação da água, com aproximadamente 65 metros de profundidade, até o reservatório é de PVC com diâmetro de 32 mm, com 19,00 metros de extensão, até chegar no reservatório. Este reservatório distribui a água pela rede com duas saídas denominadas como Trecho Norte e Trecho Sul, conforme demonstrado no mapa planialtimétrico do Anexo A.

A rede foi executada de forma ramificada com único fluxo de escoamento de água para cada um dos dois trechos, sendo que a canalização principal tem maiores

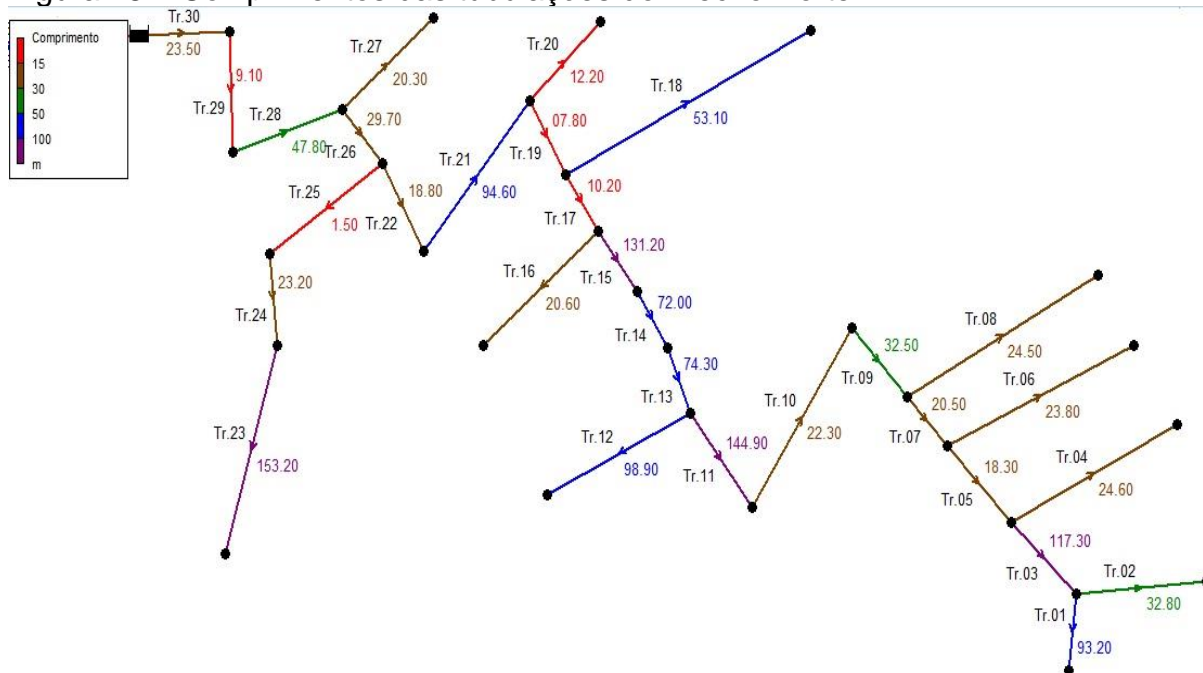
extensões, e abastece as canalizações secundárias.

4.2 Resultados do Dimensionamento para o Trecho Norte do SAA

4.2.1 Diagnóstico Atual do Trecho Norte

O Trecho Norte tem um total de 1456,70 metros de extensão de tubulação, distribuídos em 30 trechos menores que abastecem 14 pontos de consumo ativos que representam as famílias (com estimativa de 4 integrantes por família) atendidas por esta parte da rede, como é possível observar na Figura 18, montada no programa Epanet 2.0.

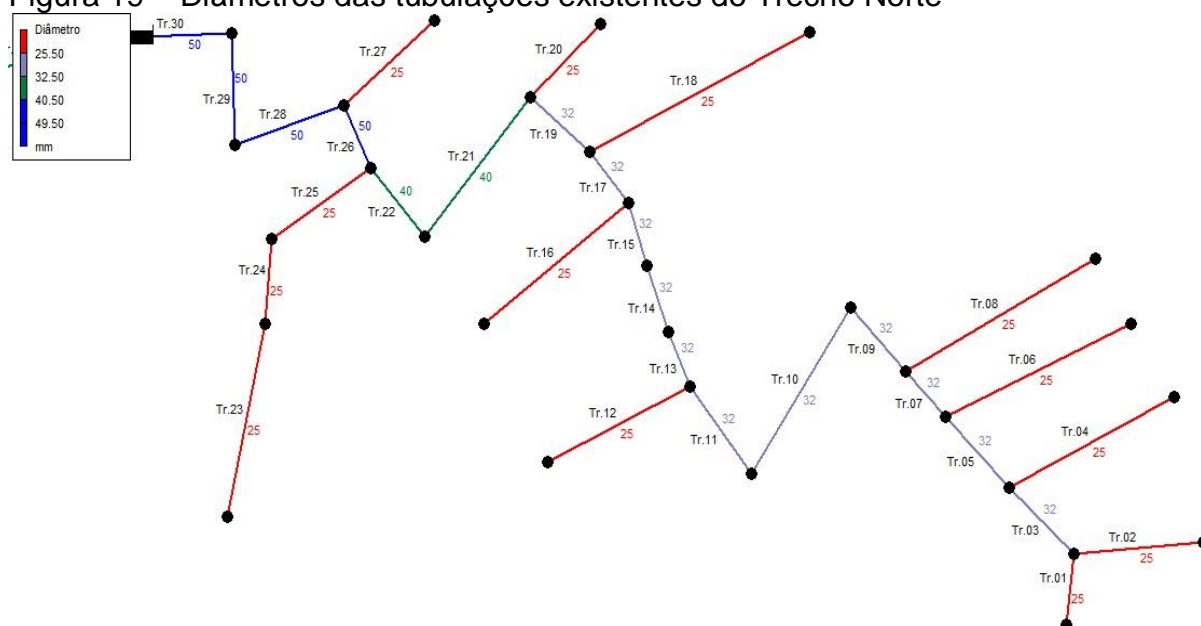
Figura 18 – Comprimentos das tubulações do Trecho Norte



Fonte: Autor (2019).

A tubulação da rede é toda em tubos de PVC, variando seu diâmetro de acordo com a distribuição de água, conforme a Figura 19.

Figura 19 – Diâmetros das tubulações existentes do Trecho Norte

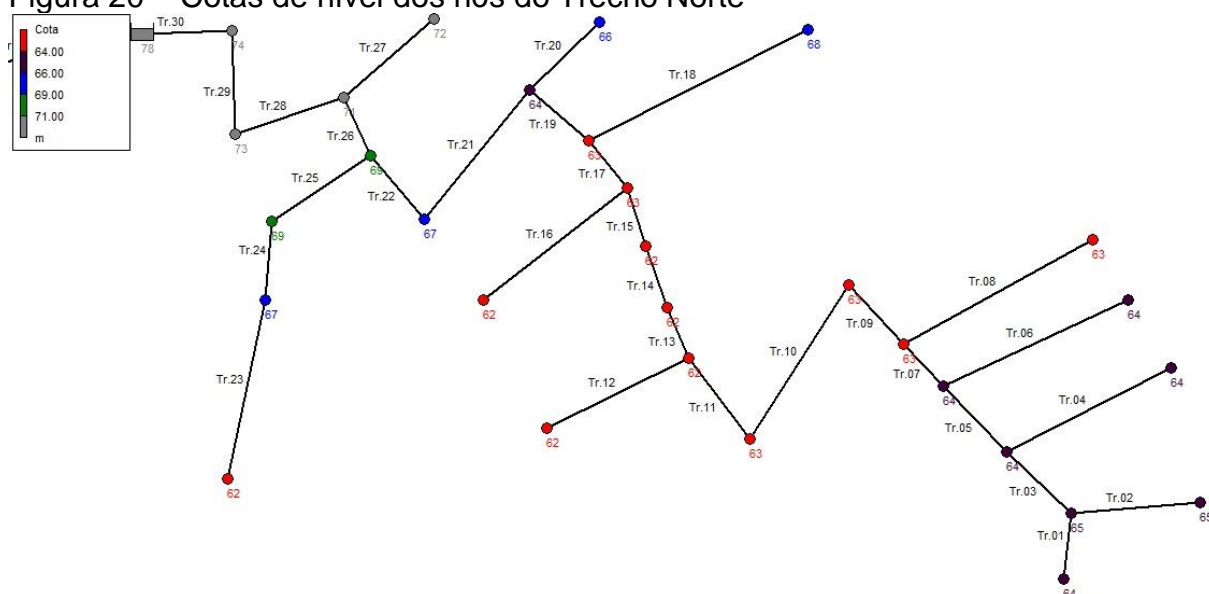


Fonte: Autor (2019).

As canalizações principais deste trecho têm os diâmetros maiores, variando o as bitolas de 32 mm (651,30 metros de extensão), 40 mm (113,49 metros de extensão) e na parte mais próxima do reservatório de 50 mm (110,10 metros de extensão); e as canalizações secundárias, que distribuem a água aos pontos de consumo, têm diâmetro de 25 mm (581,90 metros de extensão).

As cotas de nível são apresentadas na Figura 20.

Figura 20 – Cotas de nível dos nós do Trecho Norte



Fonte: Autor (2019).

No Trecho Norte as cotas de nível variam 14 metros, onde o ponto mais baixo está na cota de 62 metros acima do nível do mar e o ponto mais alto é o reservatório, que está a 76 metros do nível do mar.

A Tabela 2 apresenta os dados de extensão, diâmetros e as cotas de nível obtidos com as medições.

Tabela 2 – Dimensões do Trecho Norte

MEDIDAS TRECHO NORTE				
Nº TRECHO	EXTENSÃO (m)	DIÂMETRO (mm)	COTA DE NÍVEL JUSANTE (m)	COTA DE NÍVEL MONTANTE (m)
1	93,20	25	64	65
2	32,80	25	65	65
3	117,30	32	65	64
4	24,60	25	64	64
5	18,30	32	64	64
6	23,80	25	64	64
7	20,50	32	64	63
8	24,50	25	63	63
9	32,50	32	63	63
10	22,30	32	63	63
11	144,90	32	63	62
12	98,90	25	62	62
13	74,30	32	62	62
14	72,00	32	62	62
15	131,20	32	62	63
16	20,60	25	62	63
17	10,20	32	63	63
18	53,10	25	68	63
19	7,80	32	63	64
20	12,20	25	66	64
21	94,60	40	64	67
22	18,80	40	67	69
23	153,20	25	62	67
24	23,20	25	67	69
25	1,50	25	69	69
26	29,70	50	69	71
27	20,30	25	72	71
28	47,80	50	71	73
29	9,10	50	73	74
30	23,50	50	74	76
LT	1456,70			

Fonte: Autor (2019).

De acordo com as medições, a extensão total da rede variando entre os

diâmetros de 25, 32, 40 e 50 mm é de 1456,70 metros de tubulação de PVC.

Com os dados obtidos no mapeamento foi utilizada uma planilha, conforme Anexo B, com os cálculos especificados na metodologia, com o objetivo de encontrar os valores de vazões, velocidade, perdas de carga e pressões de cada trecho do sistema atual. Foi utilizada a vazão e a taxa por ponto de consumo, ao invés de calcular com uma vazão total e taxa linear para a rede como um todo, pois é uma rede que tem pequeno número de consumidores, sendo que os pontos de consumos são bastante espaçados e percorrem grandes distâncias sem consumo, possibilitando chegar em valores condizentes com a realidade.

Para a confirmação destes dados, foram geradas outras planilhas, das simulações realizadas no programa Epanet 2.0 com valores de vazão, velocidade e pressão, para comparação das informações. Os valores para o Trecho Norte seguem na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da rede atual no Trecho Norte

TRECHO NORTE					
Vazão total para trecho NORTE			0,23	I/s	
Taxa por ponto de consumo:			0,016667	I/s.casa	
				C = 140	
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PRESSÃO (mca)
1	93,2	0,07	25	0,14	12,77
2	32,80	0,02	25	0,03	11,89
3	117,30	0,08	32	0,10	11,90
4	24,60	0,02	25	0,03	12,97
5	18,30	0,10	32	0,12	12,97
6	23,80	0,02	25	0,03	12,98
7	20,50	0,12	32	0,15	12,98
8	24,50	0,02	25	0,03	14,01
9	32,50	0,13	32	0,17	14,01
10	22,30	0,13	32	0,17	14,05
11	144,90	0,13	32	0,17	14,09
12	98,90	0,02	25	0,03	15,28
13	74,30	0,15	32	0,19	15,29
14	72,00	0,15	32	0,19	15,43
15	131,20	0,15	32	0,19	15,56
16	20,60	0,02	25	0,03	15,79
17	10,20	0,17	32	0,21	14,79
18	53,10	0,02	25	0,03	9,81
19	7,80	0,18	32	0,23	14,81
20	12,20	0,02	25	0,03	11,83
21	94,60	0,20	40	0,16	13,83
22	18,80	0,20	40	0,16	10,93
23	153,20	0,02	25	0,03	15,93
24	23,20	0,02	25	0,03	10,95
25	1,50	0,02	25	0,03	8,95
26	29,70	0,22	50	0,11	8,95
27	20,30	0,02	25	0,03	5,96
28	47,80	0,23	50	0,12	6,96
29	9,10	0,23	50	0,12	4,98
30	23,50	0,23	50	0,12	3,99
LT	1456,70				

Fonte: Autor (2019).

De modo geral as informações das planilhas de Excel e do Epanet convergem

em suas informações, tendo pequenas diferenças em arredondamentos. As vazões ficaram praticamente idênticas pelo fato de terem sido calculadas por ponto de consumo. É possível observar que em toda rede, desde a principal até a que leva aos pontos de consumo, os valores de velocidade ficaram abaixo do mínimo de 0,6 m/s apontados pela NBR 12218 (ABNT, 1994), muito devido à sua execução fora dos padrões do que é normatizado.

Foram constatadas pressões abaixo dos 10 mca (pressão mínima normatizada), nos trechos 25 a 30, trechos estes os mais próximos do reservatório, podendo constatar que as pressões baixas ocorrem devido ao baixo desnível desta região comparada à cota piezométrica do reservatório. Dos trechos 01 a 24 as pressões, apesar de não serem altas, ficam dentro do mínimo indicado NBR 12218 (ABNT, 1994), que é de 50 mca.

Estes valores se alinham com relatos dos consumidores destes trechos, que confirmaram pressões abaixo do esperado nas regiões apontadas.

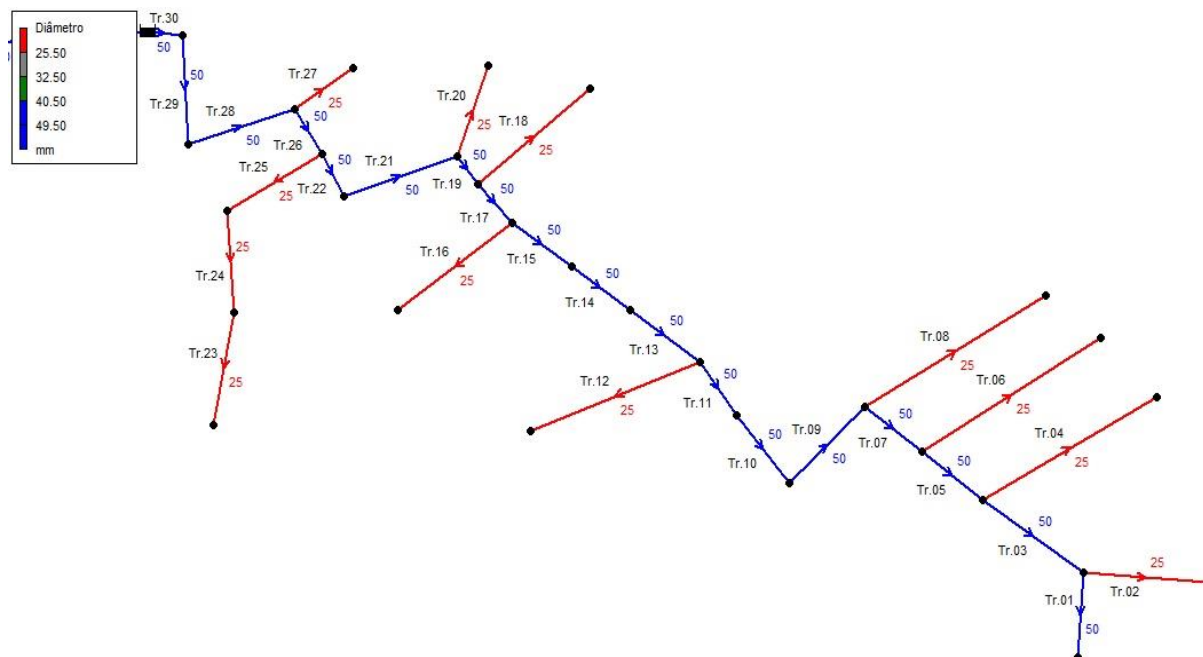
4.2.2 Sugestões de Melhorias para o Trecho Norte

A partir dos resultados obtidos, foram propostas sugestões de melhorias para o sistema de abastecimento de água no Trecho Norte. As alternativas de melhorias foram: aumentar o diâmetro da rede principal, elevar o reservatório e instalar um pressurizador na rede, e estas propostas serão descritas na sequência.

4.2.2.1 Alternativa 01: Aumento de Diâmetro da Rede para o Trecho Norte

Como a rede foi executada na maior parte com diâmetros abaixo do estipulado na norma regulamentadora NBR 12218 (ABNT, 1994), foi proposto que houvesse a troca das tubulações da rede principal para o diâmetro mínimo exigido que é de 50 mm, fazendo com que a distribuição dos diâmetros esteja conforme mostrada na Figura 21 para o Trecho Norte.

Figura 21 – Diâmetros das tubulações renovadas do Trecho Norte



Fonte: Autor (2019).

As canalizações principais deste trecho têm o diâmetro de 50 mm, sendo 110,10 metros da rede existente somados à 764,70 metros que substituíram os trechos com diâmetro de 32 e 40 mm, perfazendo assim um total de 874,80 metros de extensão de rede principal; e as canalizações secundárias, que distribuem a água aos pontos de consumo, continuam com diâmetro de 25 mm (581,90 metros de extensão).

A partir destes dados foi elaborada uma planilha para detalhar as características de cada trecho com estes novos diâmetros. O Trecho Norte é dimensionado conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Dimensões do Trecho Norte com aumento de diâmetro

MEDIDAS TRECHO NORTE				
Nº TRECHO	EXTENSÃO (m)	DIÂMETRO (mm)	COTA DE NÍVEL JUSANTE (m)	COTA DE NÍVEL MONTANTE (m)
1	93,20	25	64	65
2	32,80	25	65	65
3	117,30	50	65	64
4	24,60	25	64	64
5	18,30	50	64	64
6	23,80	25	64	64
7	20,50	50	64	63
8	24,50	25	63	63
9	32,50	50	63	63
10	22,30	50	63	63
11	144,90	50	63	62
12	98,90	25	62	62
13	74,30	50	62	62
14	72,00	50	62	62
15	131,20	50	62	63
16	20,60	25	62	63
17	10,20	50	63	63
18	53,10	25	68	63
19	7,80	50	63	64
20	12,20	25	66	64
21	94,60	50	64	67
22	18,80	50	67	69
23	153,20	25	62	67
24	23,20	25	67	69
25	1,50	25	69	69
26	29,70	50	69	71
27	20,30	25	72	71
28	47,80	50	71	73
29	9,10	50	73	74
30	23,50	50	74	76
LT	1456,70			

Fonte: Autor (2019).

Com estes dados foram geradas planilhas das simulações realizadas no programa Epanet 2.0, com valores de vazão, velocidade e pressão, para comparação destes com os obtidos anteriormente. Os valores para o Trecho Norte seguem na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da rede no Trecho Norte com aumento de diâmetro

TRECHO NORTE					
Vazão total para trecho NORTE			0,23	I/s	
Taxa por ponto de consumo:			0,016667	I/s.casa	
				C = 140	
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PRESSÃO (mca)
1	93,20	0,07	25	0,03	13,80
2	32,80	0,02	25	0,03	12,80
3	117,30	0,08	32	0,04	12,81
4	24,60	0,02	25	0,03	13,81
5	18,30	0,10	32	0,05	13,81
6	23,80	0,02	25	0,03	13,81
7	20,50	0,12	32	0,06	13,81
8	24,50	0,02	25	0,03	14,82
9	32,50	0,13	32	0,07	14,82
10	22,30	0,13	32	0,07	14,82
11	144,90	0,13	32	0,07	14,83
12	98,90	0,02	25	0,03	15,84
13	74,30	0,15	32	0,08	15,85
14	72,00	0,15	32	0,08	15,87
15	131,20	0,15	32	0,08	15,88
16	20,60	0,02	25	0,03	15,90
17	10,20	0,17	32	0,08	14,91
18	53,10	0,02	25	0,03	9,90
19	7,80	0,18	32	0,09	15,91
20	12,20	0,02	25	0,03	11,91
21	94,60	0,20	40	0,10	13,91
22	18,80	0,20	40	0,10	10,94
23	153,20	0,02	25	0,03	15,93
24	23,20	0,02	25	0,03	10,95
25	1,50	0,02	25	0,03	8,95
26	29,70	0,22	50	0,11	8,95
27	20,30	0,02	25	0,03	5,96
28	47,80	0,23	50	0,12	6,96
29	9,10	0,23	50	0,12	4,98
30	23,50	0,23	50	0,12	3,99
LT	1456,70				

Fonte: Autor (2019).

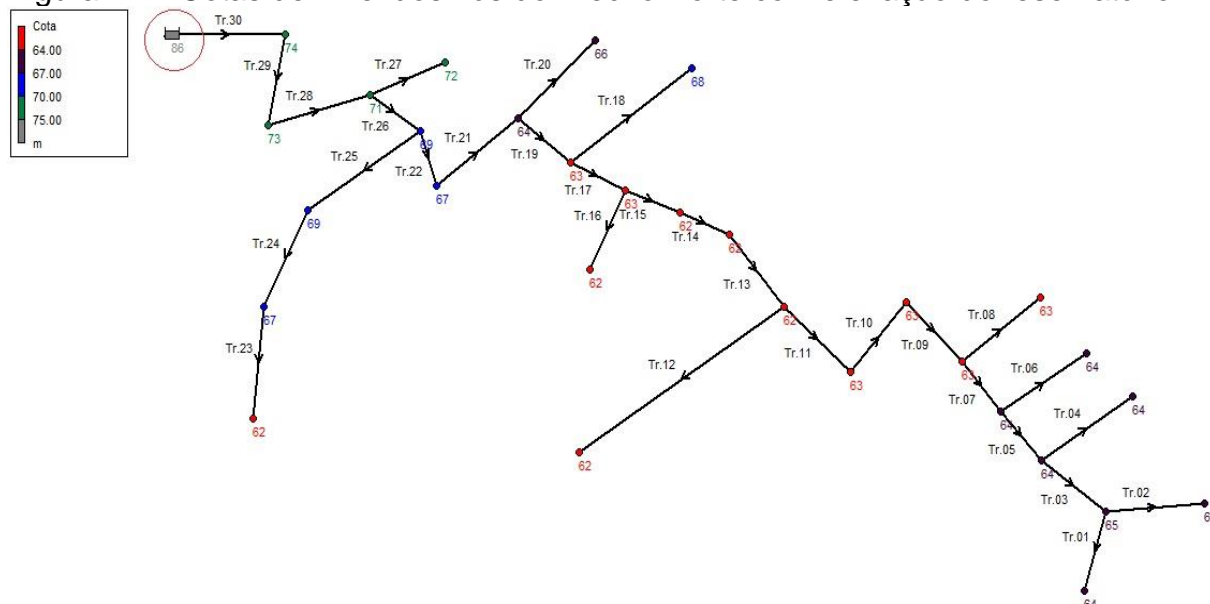
Como as vazões foram calculadas por ponto de consumo, ficaram as mesmas da rede existente. Com o aumento do diâmetro da rede foi possível constatar que a velocidade diminuiu em todas as tubulações no Trecho Norte, e na parte da pressão, houve ganhos nos pontos mais distantes do reservatório, mas que foram poucos significativos, continuando os trechos 01 a 24 com pressões, apesar de não serem altas, dentro do mínimo indicado NBR 12218 (ABNT, 1994); nos trechos 25 a 30,

trechos estes os mais próximos do reservatório, os valores de pressão não sofreram alterações.

4.2.2.2 Alternativa 02: Elevação do Reservatório para o Trecho Norte

A segunda alternativa, foi a elevação do reservatório que atualmente está com 2 metros de altura em relação ao solo, e com a proposta de elevação, ficaria com 10 metros, mantendo os diâmetros das tubulações com os mesmos valores da rede existente. A Figura 22 mostra as cotas de nível da rede com a alteração da cota piezométrica do reservatório.

Figura 22 – Cotas de nível dos nós do Trecho Norte com elevação do reservatório



Fonte: Autor (2019).

Com a elevação do reservatório no Trecho Norte, as cotas de nível variam 22 metros, onde o ponto mais baixo está na cota de 62 metros acima do nível do mar e o ponto mais alto é o reservatório, que fica a 76 metros do nível do mar, que somados aos 10 metros de elevação perfazem um total de 86 metros.

Com estes dados foram geradas planilhas das simulações realizadas no programa Epanet 2.0, com valores de vazão, velocidade e pressão, para comparação destes com os obtidos anteriormente. Os valores para o Trecho Norte seguem na Tabela 06.

Tabela 06 – Resultados do Trecho Norte com elevação do reservatório

TRECHO NORTE					
Vazão total para trecho NORTE			0,23	I/s	
Taxa por ponto de consumo:			0,016667	I/s.casa	
			C = 140		
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PRESSÃO (mca)
1	93,20	0,07	25	0,14	20,77
2	32,80	0,02	25	0,03	19,89
3	117,30	0,08	32	0,10	19,90
4	24,60	0,02	25	0,03	20,97
5	18,30	0,10	32	0,12	20,97
6	23,80	0,02	25	0,03	20,98
7	20,50	0,12	32	0,15	20,98
8	24,50	0,02	25	0,03	22,01
9	32,50	0,13	32	0,17	22,01
10	22,30	0,13	32	0,17	22,05
11	144,90	0,13	32	0,17	22,09
12	98,90	0,02	25	0,03	23,28
13	74,30	0,15	32	0,19	23,29
14	72,00	0,15	32	0,19	23,43
15	131,20	0,15	32	0,19	23,56
16	20,60	0,02	25	0,03	23,79
17	10,20	0,17	32	0,21	22,79
18	53,10	0,02	25	0,03	17,81
19	7,80	0,18	32	0,23	22,81
20	12,20	0,02	25	0,03	19,83
21	94,60	0,20	40	0,16	21,83
22	18,80	0,20	40	0,16	18,93
23	153,20	0,02	25	0,03	23,93
24	23,20	0,02	25	0,03	18,95
25	1,50	0,02	25	0,03	16,95
26	29,70	0,22	50	0,11	16,95
27	20,30	0,02	25	0,03	13,96
28	47,80	0,23	50	0,12	14,96
29	9,10	0,23	50	0,12	12,98
30	23,50	0,23	50	0,12	11,99
LT	1456,70				

Fonte: Autor (2019).

Como as vazões foram calculadas por ponto de consumo, ficaram as mesmas da rede existente, bem como as velocidades, uma vez que foram mantidos os diâmetros da tubulação existente. A grande alteração aconteceu na parte da pressão, onde todos os trechos ficam dentro dos valores mínimos (10 m.c.a) e máximos (50 m.c.a) indicados na NBR 12218 (ABNT, 1994), inclusive a região dos trechos 25 a 30

que tem o menor desnível em relação ao reservatório.

4.2.2.3 Alternativa 03: Instalação de Pressurizador por Ponto de Consumo

Como não é projetada a ampliação de associados da rede, limitando o número de consumidores em 28, foi proposta uma alternativa, que seria a instalação de um sistema de pressurização, mas como este é um sistema de abastecimento de pequeno porte, e sua instalação e operação demandaria um grande custo, foi decidido que a alternativa sugerida é a instalação de um pressurizador para cada ponto de consumo que tiver pressão abaixo do mínimo considerado pela NBR 12218 (ABNT, 1994). Esta é uma alternativa de solução mais pontual, que não visa resolver os problemas da rede como um todo, mas sim de cada residência abastecida

Pressurizadores são aparelhos elétricos instalados na tubulação com o objetivo de manter ou aumentar a pressão de água existente, podendo potencializar também a vazão. Sua instalação deve ser feita o mais próximo possível do reservatório, de preferência logo na saída, na tubulação que alimenta o ponto onde se pretende ter mais pressão. A Figura 23 mostra um modelo de pressurizador.

Figura 23 – Modelo de pressurizador sugerido para o Trecho Norte

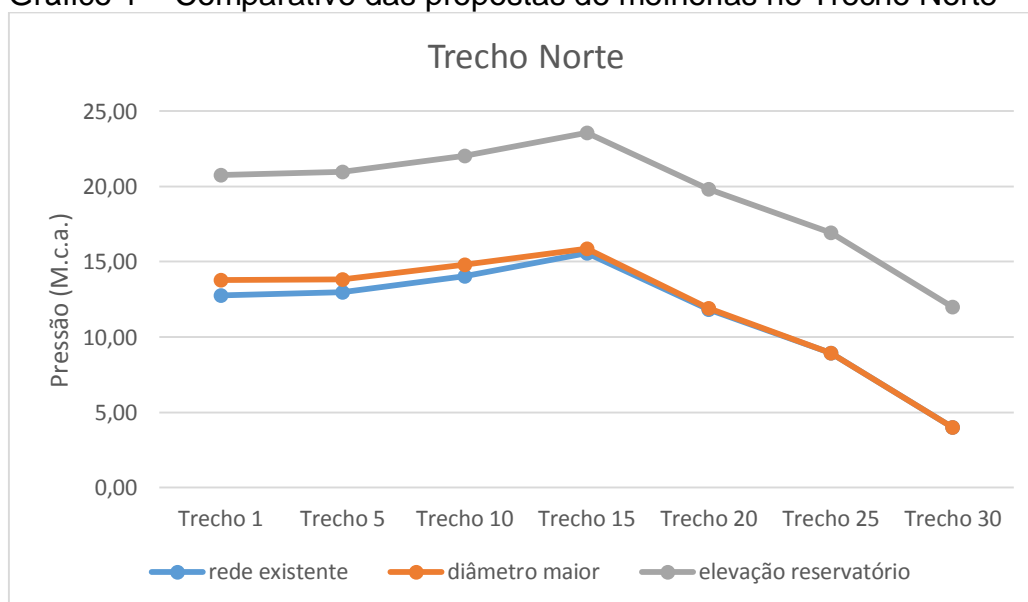


Fonte: Adaptado pelo autor com base em catálogo Komeco (2019).

4.2.3 Análise Comparativa das Melhorias do Trecho Norte

Depois de realizadas todas as projeções e cálculos das sugestões de melhorias, foi possível fazer um comparativo entre a rede existente e as propostas apresentadas para poder repassar aos responsáveis pelo gerenciamento e manutenção da rede o diagnóstico da rede atual juntamente com a melhor proposta de melhoria para a solução do problema de pressão que acomete alguns pontos do sistema. O Gráfico 1 mostra o comparativo das redes do Trecho Norte.

Gráfico 1 – Comparativo das propostas de melhorias no Trecho Norte



Fonte: Autor (2019).

Para este trecho, é possível concluir que a alternativa 01, que foi de aumentar o diâmetro da rede principal para 50 mm, que é o mínimo indicado pela norma regulamentadora, poderia ser usada para fins de melhora da rede, no sentido de renovação das tubulações já ultrapassadas, mas não iria trazer melhoras nos problemas de pressão que existem na rede existente. Então, essa alternativa acaba sendo descartada, pois demandaria de um investimento que não compensa pelo fato de não alcançar os resultados que a sociedade de água precisa para resolver os problemas de pressão da rede.

A alternativa 02 que consiste em elevar o reservatório a uma altura de 10 metros

do solo, para obter um maior desnível comparado com o reservatório atual que fica a 2 metros de altura, tem bons resultados, fazendo com que a pressão em todos os pontos que apresentam problemas na rede atual atinja a mínima exigida pela NBR 12218 (ABNT, 1994), que é de 10 m.c.a, e que melhora a pressão nos pontos que já atingiam os valores normatizados.

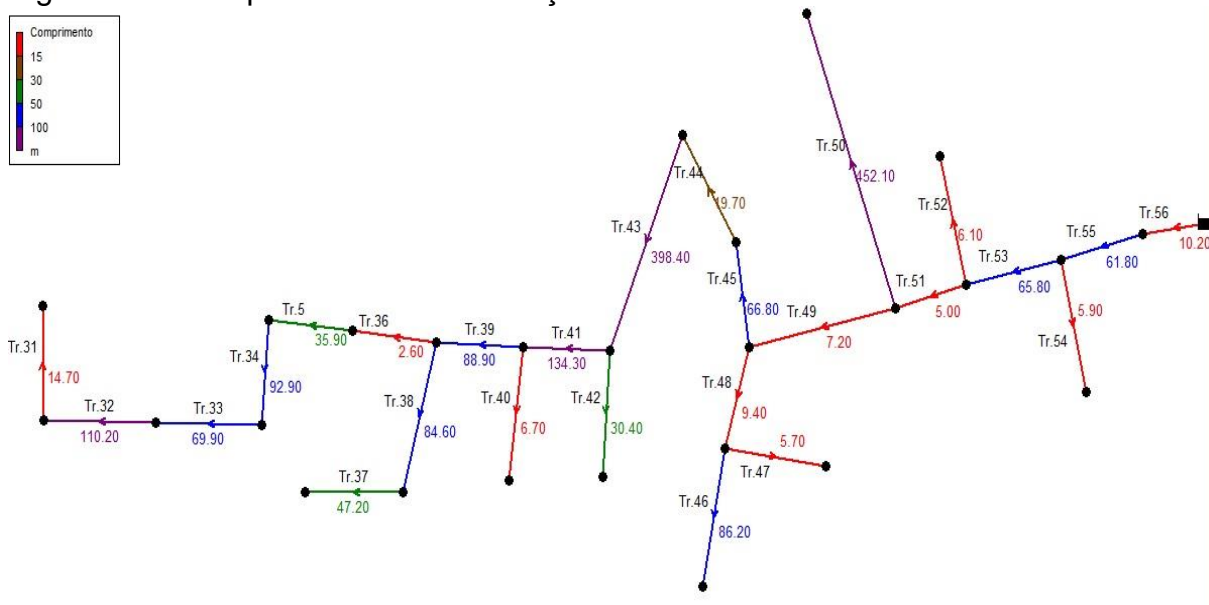
A alternativa 03 que consiste na instalação de um pressurizador para cada ponto de consumo que tem baixa pressão e vazão, vai trazer bons resultados pontualmente, mas sem alterar os problemas da rede como um todo.

4.3 Resultados do Dimensionamento para o Trecho Sul do SAA

4.3.1 Diagnóstico Atual do Trecho Sul

O Trecho Sul tem um total de 1918,60 metros de extensão de tubulação, distribuídos em 26 trechos menores que abastecem 12 pontos de consumo, sendo 9 destes ativos, que representam as famílias (com estimativa de 4 integrantes por família) atendidas por esta parte da rede, como é possível observar na Figura 24, montada no programa Epanet 2.0.

Figura 24 – Comprimentos das tubulações do Trecho Sul

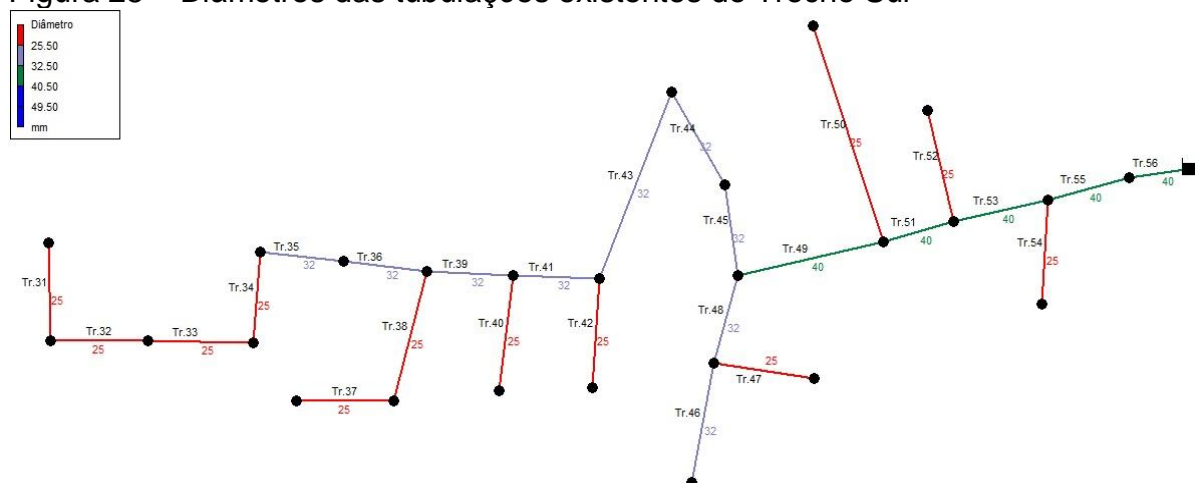


Fonte: Autor (2019).

A tubulação da rede é toda em tubos de PVC, variando seu diâmetro de acordo

com a distribuição de água conforme a Figura 25 para o Trecho Sul.

Figura 25 – Diâmetros das tubulações existentes do Trecho Sul

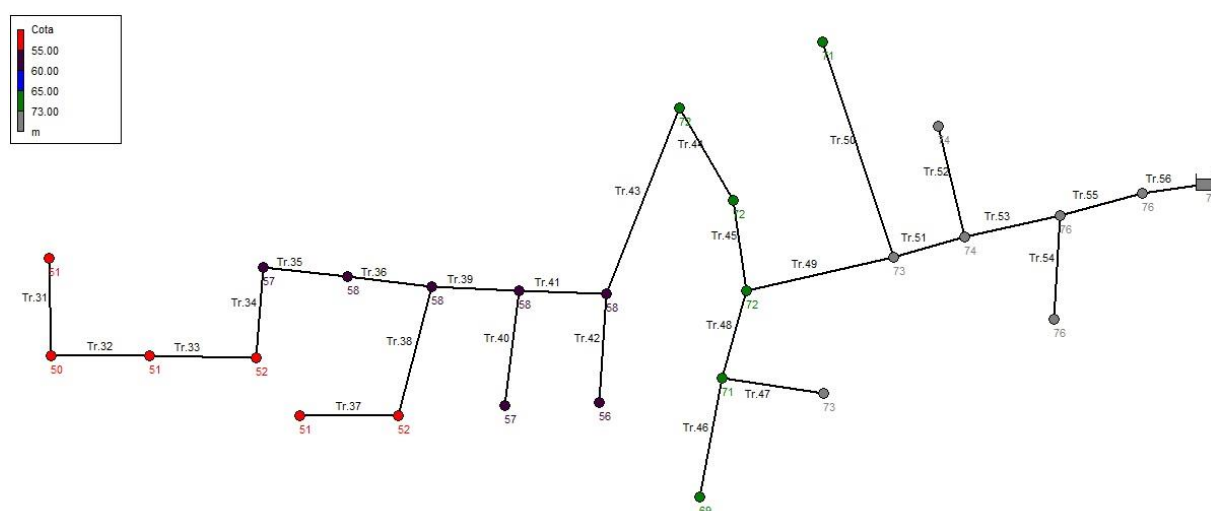


Fonte: Autor (2019).

As canalizações principais deste trecho têm os diâmetros maiores, variando o diâmetro entre as bitolas de 32 mm (842,20 metros de extensão), e na parte mais próxima do reservatório de 40 mm (150,00 metros de extensão); e as canalizações secundárias, que distribuem a água aos pontos de consumo, têm diâmetro de 25 mm (926,40 metros de extensão).

As cotas de nível são apresentadas na Figura 26.

Figura 26 – Cotas de nível dos nós do Trecho Sul



Fonte: Autor (2019).

No Trecho Sul a variação de altura é maior, tendo 26 metros de desnível entre o ponto mais baixo (50 metros) e o ponto mais alto, que também é o reservatório, estando 76 metros acima do nível do mar.

A Tabela 7 apresenta os dados de extensão, diâmetros e as cotas de nível obtidos com as medições.

Tabela 7 – Dimensões do Trecho Sul

MEDIDAS TRECHO SUL				
Nº TRECHO	EXTENSÃO (m)	DIÂMETRO (mm)	COTA DE NÍVEL JUSANTE (m)	COTA DE NÍVEL MONTANTE (m)
31	14,70	25	51	50
32	110,20	25	50	51
33	69,90	25	51	52
34	92,90	25	52	57
35	35,90	32	57	58
36	2,60	32	58	58
37	47,20	25	51	52
38	84,60	25	52	58
39	88,90	32	58	58
40	6,70	25	57	58
41	134,30	32	58	58
42	30,40	25	56	58
43	398,40	32	58	72
44	19,70	32	72	72
45	66,80	32	72	72
46	86,20	32	69	71
47	5,70	25	73	71
48	9,40	32	71	72
49	7,20	40	72	73
50	452,10	25	71	73
51	5,00	40	73	74
52	6,10	25	74	74
53	65,80	40	74	76
54	5,90	25	76	76
55	61,80	40	76	76
56	10,20	40	76	76
LT	1918,60			

Fonte: Autor (2019).

Para o trecho Sul, a extensão total da rede varia entre os diâmetros de 25, 32, e 40 mm, e é de 1918,60 metros de tubulação de PVC.

Com os dados obtidos no mapeamento foi utilizada uma planilha, conforme Anexo C, com os cálculos especificados na metodologia, com o objetivo de encontrar os valores de vazões, velocidade, perdas de carga e pressões de cada trecho do sistema atual. Foi utilizada a vazão e a taxa por ponto de consumo, ao invés de calcular com uma vazão total e taxa linear para a rede como um todo, pois é uma rede que tem pequeno número de consumidores, sendo que os pontos de consumos são bastante espaçados e percorrem grandes distâncias sem consumo, possibilitando chegar em valores condizentes com a realidade.

Para a confirmação destes dados, foram geradas outras planilhas, das simulações realizadas no programa Epanet 2.0 com valores de vazão, velocidade e pressão para comparação das informações. Os valores para o Trecho Norte, seguem na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da rede atual no Trecho Sul

TRECHO SUL					
Vazão total para trecho SUL			0,15	I/s	
Taxa por ponto de consumo:			0,016667	I/s.casa	
				C = 140	
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PRESSÃO (mca)
31	14,70	0,02	25	0,03	26,66
32	110,20	0,02	25	0,03	27,66
33	69,90	0,02	25	0,03	26,67
34	92,90	0,02	25	0,03	25,68
35	35,90	0,02	32	0,02	20,68
36	2,60	0,02	32	0,02	19,90
37	47,20	0,02	25	0,03	26,67
38	84,60	0,02	25	0,03	25,68
39	88,90	0,03	32	0,04	19,69
40	6,70	0,02	25	0,04	20,70
41	134,30	0,05	32	0,06	19,70
42	30,40	0,02	25	0,03	21,72
43	398,40	0,07	32	0,08	19,73
44	19,70	0,07	32	0,08	5,89
45	66,80	0,07	32	0,08	5,89
46	86,20	0,02	32	0,02	8,92
47	5,70	0,02	25	0,03	4,92
48	9,40	0,03	32	0,04	6,92
49	7,20	0,10	40	0,08	5,92
50	452,10	0,02	25	0,03	6,88
51	5,00	0,12	40	0,09	4,92
52	6,10	0,02	25	0,03	3,92
53	65,80	0,13	40	0,11	3,92
54	5,90	0,02	25	0,03	1,96
55	61,80	0,15	40	0,12	1,96
56	10,20	0,15	40	0,12	1,99
LT	1918,60				

Fonte: Autor (2019).

Para o Trecho Sul as vazões também ficaram praticamente idênticas, pelo fato de terem sido calculadas por ponto de consumo. É possível observar que em toda rede, desde a principal até a que leva aos pontos de consumo, os valores de velocidade ficaram abaixo do mínimo de 0,6 m/s apontados pela NBR 12218 (ABNT, 1994), também devido à sua execução fora dos padrões do que é normatizado.

Foram constatadas pressões abaixo dos 10 m.c.a. (pressão mínima

normatizada) nos trechos 44 a 56, trechos estes mais próximos do reservatório, sendo que estas pressões baixas ocorrem devido ao baixo desnível desta região comparada à cota piezométrica do reservatório. A partir do trecho 43, que percorre grande distância com bom desnível para melhorar a pressão dos trechos na sequência, as pressões são consideradas boas.

Estes valores se alinham com relatos dos consumidores destes trechos, que confirmaram pressões abaixo do esperado nas regiões apontadas.

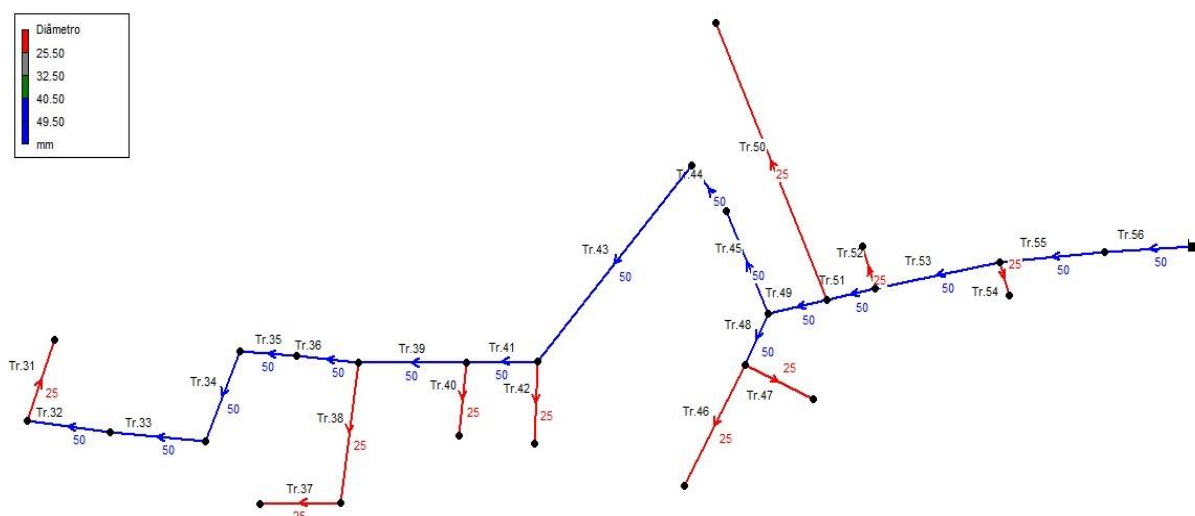
4.3.2 Sugestões de Melhorias para o Trecho Sul

A partir dos resultados obtidos, foram propostas sugestões de melhorias para o sistema de abastecimento de água no trecho Sul. As alternativas de melhorias foram: aumentar o diâmetro da rede principal, elevar o reservatório e instalar um pressurizador na rede. Estas propostas serão descritas na sequência.

4.3.2.1 Alternativa 01: Aumento de Diâmetro da Rede para o Trecho Sul

Como a rede foi executada na maior parte com diâmetros abaixo do estipulado na norma regulamentadora NBR 12218 (ABNT, 1994), foi proposto que houvesse a troca das tubulações da rede principal para o diâmetro mínimo exigido que é de 50 mm, fazendo com que a distribuição dos diâmetros esteja conforme mostrada na Figura 27 para o Trecho Sul.

Figura 27 – Diâmetros das tubulações renovadas do Trecho Sul



Fonte: Autor (2019).

As canalizações principais do Trecho Sul têm o diâmetro de 50 mm, sendo que substituíram os trechos com diâmetro de 32 e 40 mm, totalizando 992,20 metros de extensão de rede principal, e as canalizações secundárias, que distribuem a água aos pontos de consumo, continuam com diâmetro de 25 mm (926,40 metros de extensão).

Com estes dados, foi elaborada uma planilha para detalhar as características de cada trecho com estes novos diâmetros. O Trecho Sul é dimensionado conforme a Tabelas 9.

Tabela 9 – Dimensões do Trecho Sul com aumento de diâmetro

MEDIDAS TRECHO SUL:				
N° TRECHO	EXTENSÃO (m)	DIÂMETRO(mm)	COTA DE NÍVEL JUSANTE (m)	COTA DE NÍVEL MONTANTE (m)
31	14,70	25	51	50
32	110,20	25	50	51
33	69,90	25	51	52
34	92,90	25	52	57
35	35,90	50	57	58
36	2,60	50	58	58
37	47,20	25	51	52
38	84,60	25	52	58
39	88,90	50	58	58
40	6,70	25	57	58
41	134,30	50	58	58
42	30,40	25	56	58
43	398,40	50	58	72
44	19,70	50	72	72
45	66,80	50	72	72
46	86,20	50	69	71
47	5,70	25	73	71
48	9,40	50	71	72
49	7,20	50	72	73
50	452,10	25	71	73
51	5,00	50	73	74
52	6,10	25	74	74
53	65,80	50	74	76
54	5,90	25	76	76
55	61,80	50	76	76
56	10,20	50	76	76
LT	1918,60			

Fonte: Autor (2019).

Com estes dados, foram geradas planilhas das simulações realizadas no programa Epanet 2.0, com valores de vazão, velocidade e pressão, para comparação destes com os obtidos anteriormente. Para o Trecho Sul, os resultados são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados da rede no Trecho Sul com aumento de diâmetro

TRECHO SUL					
Vazão total para trecho SUL		0,15		l/s	
Taxa por ponto de consumo:		0,016667		l/s.casa	
				C = 140	
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PRESSÃO (mca)
31	14,70	0,02	25	0,03	26,93
32	110,20	0,02	25	0,01	27,94
33	69,90	0,02	25	0,01	26,94
34	92,90	0,02	25	0,01	25,94
35	35,90	0,02	32	0,01	20,94
36	2,60	0,02	32	0,01	19,94
37	47,20	0,02	25	0,03	26,92
38	84,60	0,02	25	0,03	25,93
39	88,90	0,03	32	0,02	19,94
40	6,70	0,02	25	0,03	20,94
41	134,30	0,05	32	0,03	19,94
42	30,40	0,02	25	0,03	21,94
43	398,40	0,07	32	0,03	19,94
44	19,70	0,07	32	0,03	5,96
45	66,80	0,07	32	0,03	5,96
46	86,20	0,02	32	0,03	8,95
47	5,70	0,02	25	0,03	4,96
48	9,40	0,03	32	0,02	6,96
49	7,20	0,10	40	0,05	5,96
50	452,10	0,02	25	0,03	6,92
51	5,00	0,12	40	0,06	4,96
52	6,10	0,02	25	0,03	3,96
53	65,80	0,13	40	0,07	3,96
54	5,90	0,02	25	0,14	1,97
55	61,80	0,15	40	0,10	1,98
56	10,20	0,15	40	0,10	2,00
LT	1918,60				

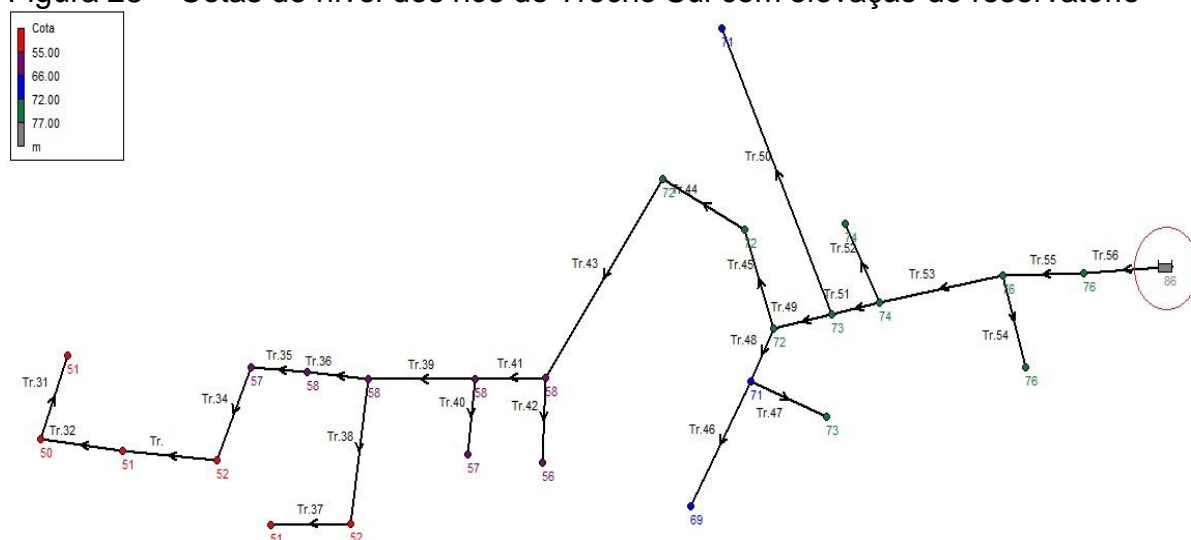
Fonte: Autor (2019).

No Trecho Sul, as vazões também se mantiveram as mesmas da rede existente, com as velocidades tendo perdas em todas as tubulações do trecho. Nas pressões, houveram ganhos nas tubulações mais distantes (a partir do trecho 43), mas como as pressões nestes trechos já eram boas, estes ganhos não trazem grande impacto para a rede. Nos trechos 44 a 56, trechos estes mais próximos do reservatório, os ganhos de pressão foram bem baixos, fazendo com que esta região continuasse com as pressões abaixo do mínimo estipulado na norma.

4.3.2.2 Alternativa 02: Elevação do Reservatório para o Trecho Sul

A segunda alternativa, foi a elevação do reservatório que atualmente está com 2 metros de altura em relação ao solo, e com a proposta de elevação ficaria com 10 metros, mantendo os diâmetros das tubulações com os mesmos valores da rede existente. A Figura 28 mostra as cotas de nível da rede com a alteração da cota piezométrica do reservatório.

Figura 28 – Cotas de nível dos nós do Trecho Sul com elevação do reservatório



Fonte: Autor (2019).

No Trecho Sul, a variação de altura é maior, tendo 36 metros de desnível entre o ponto mais baixo (50 metros a nível do mar), e o ponto mais alto que também é o reservatório, estando 76 metros acima do nível do mar que somados aos 10 metros de elevação, perfazem um total de 86 metros.

Com os dados, foram geradas planilhas das simulações realizadas no programa Epanet 2.0, com valores de vazão, velocidade e pressão, para comparar com os obtidos anteriormente. Os valores para o Trecho Sul seguem na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do Trecho Sul com elevação do reservatório

TRECHO SUL					
Vazão total para trecho SUL			0,15	I/s	
Taxa por ponto de consumo:			0,016667	I/s.casa	
			C = 140		
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)	DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PRESSÃO (mca)
31	14,70	0,02	25	0,03	34,66
32	110,20	0,02	25	0,03	35,66
33	69,90	0,02	25	0,03	34,67
34	92,90	0,02	25	0,03	33,68
35	35,90	0,02	32	0,02	28,68
36	2,60	0,02	32	0,02	27,69
37	47,20	0,02	25	0,03	34,67
38	84,60	0,02	25	0,03	33,68
39	88,90	0,03	32	0,04	27,69
40	6,70	0,02	25	0,04	28,70
41	134,30	0,05	32	0,06	27,70
42	30,40	0,02	25	0,03	29,72
43	398,40	0,07	32	0,08	27,73
44	19,70	0,07	32	0,08	13,89
45	66,80	0,07	32	0,08	13,89
46	86,20	0,02	32	0,02	16,92
47	5,70	0,02	25	0,03	12,92
48	9,40	0,03	32	0,04	14,92
49	7,20	0,10	40	0,08	13,92
50	452,10	0,02	25	0,03	14,88
51	5,00	0,12	40	0,09	12,92
52	6,10	0,02	25	0,03	11,92
53	65,80	0,13	40	0,11	11,92
54	5,90	0,02	25	0,03	9,96
55	61,80	0,15	40	0,12	9,96
56	10,20	0,15	40	0,12	9,99
LT	1918,60				

Fonte: Autor (2019).

No Trecho Sul, as vazões e as velocidades também se mantiveram as mesmas pela manutenção da rede existente. A diferença é que as pressões ficam dentro do normatizado em toda a extensão da rede, sendo que os únicos trechos que ficaram abaixo dos 10 m.ca são os trechos 54,55,56 com valores de pressão de 9,96 mca, 9,96 mca e 9,99 mca respectivamente. Estes valores estão minimamente abaixo do normatizado podendo haver questões de arredondamento.

4.3.2.3 Alternativa 03: Instalação de Pressurizador por Ponto de Consumo

Como não é projetada a ampliação de associados da rede, limitando o número de consumidores em 28, foi proposta uma alternativa, que seria a instalação de um sistema de pressurização, mas como este é um sistema de abastecimento de pequeno porte, e sua instalação e operação demandaria um grande custo, foi decidido que a alternativa sugerida é a instalação de um pressurizador para cada ponto de consumo que tiver pressão abaixo do mínimo considerado pela NBR 12218 (ABNT, 1994). Esta é uma alternativa de solução mais pontual, que não visa resolver os problemas da rede como um todo, mas sim de cada residência abastecida.

Pressurizadores são aparelhos elétricos instalados na tubulação com o objetivo de manter ou aumentar a pressão de água existente, podendo potencializar também a vazão. Sua instalação deve ser feita o mais próximo possível do reservatório, de preferência logo na saída, na tubulação que alimenta o ponto onde se pretende ter mais pressão. A Figura 29 mostra um modelo de pressurizador.

Figura 29 – Modelo de pressurizador sugerido para o Trecho Sul

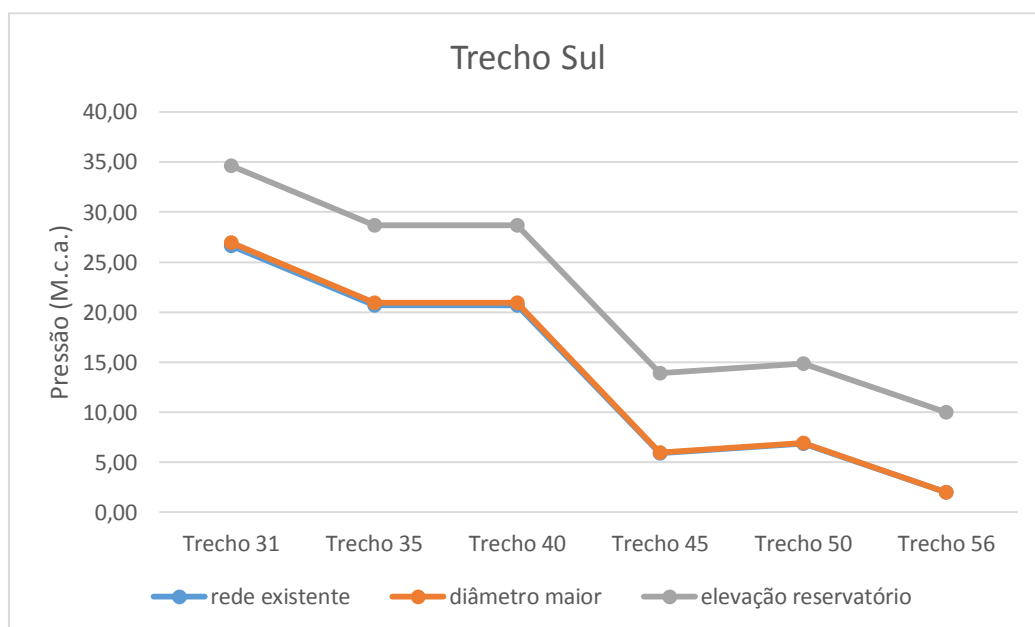


Fonte: Adaptado pelo autor com base em catálogo Komeco (2019).

4.3.3 Análise Comparativa das Melhorias do Trecho Sul

Depois de realizadas todas as projeções e cálculos das sugestões de melhorias, foi possível fazer um comparativo entre a rede existente e as propostas apresentadas, para poder repassar aos responsáveis pelo gerenciamento e manutenção da rede, o diagnóstico da rede atual juntamente com a melhor proposta de melhoria, para a solução do problema de pressão que acomete alguns pontos do sistema. O Gráfico 2 mostra o comparativo das redes do Trecho Sul.

Gráfico 2 – Comparativo das propostas de melhorias no Trecho Sul



Fonte: Autor (2019).

Para o Trecho Sul, também é possível concluir que a alternativa 01, que foi de aumentar o diâmetro da rede principal para 50 mm, que é o mínimo indicado pela norma regulamentadora, não traz melhoras efetivas na pressão, então essa alternativa acaba sendo descartada, pois demandaria de um investimento que não compensa pelo fato de não alcançar os resultados que a sociedade de água precisa para resolver os problemas de pressão na rede atual.

A alternativa de elevação do reservatório também tem bons resultados, como no Trecho Norte, fazendo com que a pressão em todos os pontos que apresentam problemas na rede atual atinja a pressão mínima exigida pela NBR 12218 (ABNT,

1994), que é de 10 m.c.a, e que melhora a pressão nos pontos que já atingiam os valores normatizados.

A alternativa 03 que consiste na instalação de um pressurizador para cada ponto de consumo que tem baixa pressão e vazão, vai trazer bons resultados pontualmente, mas sem alterar os problemas da rede como um todo.

4.4 Análise Comparativa dos Custos das Melhorias Propostas no SAA

Com as propostas de melhorias para a rede existente apresentadas, sendo que a alternativa 01 não alcançou os resultados esperados, foi elaborado um orçamento para ser apresentado aos responsáveis pelo gerenciamento da rede de água, mostrando uma base dos valores que poderiam ser investidos para a aplicação da alternativa 02 que atingiu resultados satisfatórios. Foi orçada uma estrutura em concreto de pré-moldado com as dimensões de 4,50m x 4,50m x 10,00m de altura conforme proposto. Foi orçado também a colocação de equipamentos e de uma cerca com 32 m², para manter a estrutura isolada de acesso para fins de segurança, e que será restrito a responsáveis pela manutenção e gerenciamento. O orçamento é de acordo com a Tabela 12.

Tabela 12 – Orçamento para elevação do reservatório

Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Preço Total (R\$)
1	Estrutura de concreto pré-moldada			
1.1	Pilares	Un	4	
			Subtotal	R\$17.250,00
2	Vigas			
2.1	Vigas de Baldrame com seção 0,15 x 0,40	m	18	
2.2	Vigas intermediárias com seção 0,15 x 0,40	m	36	
2.3	Vigas tipo "L" com seção 0,25 x 0,80	m	9	
2.4	Vigas de borda de laje com seção 0,15 x 0,40	m	9	
			Subtotal	R\$12.627,00
3	Laje			
3.1	Laje Tipo "PI" com seção 2,50 x 0,40, com sobrecarga de 2.500,00 Kgf/m²	m²	20,25	
			Subtotal	R\$3.037,00
4	Itens de segurança			
4.1	Escada	Un	1	
4.2	Corrimão	Un	1	
			Subtotal	R\$3.350,00
5	Equipamentos de instalação			
5.1	Guincho	h	6	
			Subtotal	R\$600,00
6	Materiais de construção			
6.1	Tela para cerca	m²	32	
6.2	Postes de concreto para cerca	Un	12	
6.3	Cimento	Un	3	
6.4	Cal	Un	2	
6.5	Areia	m³	1	
6.6	Brita	m³	1	
6.7	Pedras de areia	Un	160	
			Subtotal	R\$2.050,00
7	Mão de obra			
7.1	Pedreiro	h	20	
7.2	Servente	h	20	
			Subtotal	R\$760,00
			Total Geral	R\$39.674,00

Fonte: Autor (2019).

O valor total da compra das peças, equipamentos e instalação da estrutura para a elevação do reservatório e da sua área de isolamento e segurança, ficou em aproximadamente R\$ 39.674,00, e será apresentado aos responsáveis pela Rede de água. Caso este valor fosse dividido entre os associados que são 28, o valor por associado ficaria na base de R\$ 1.417,00, tendo as opções de haver algum tipo de

parcelamento, de uma ajuda de custo da própria sociedade de água, ou até da busca de alguma parceria.

Como a sociedade de abastecimento não pretende expandir sua rede, a alternativa 03 de melhoria, que é instalar um pressurizador por ponto de consumo que têm baixa pressão, acaba sendo uma alternativa válida, pois não resolve os problemas de toda rede, mas pode ajudar a resolver pontualmente cada situação, tendo em vista que exige um menor investimento financeiro.

A instalação de um aparelho pressurizador demanda um investimento de aproximadamente R\$ 700,00 reais com o aparelho, R\$ 400,00 reais com mão de obra, e R\$ 100,00 com materiais de instalação, totalizando um valor de aproximadamente R\$ 1.200,00 por ponto de consumo em que seria instalado o aparelho. O Trecho Norte tem somente um ponto de consumo (trecho 27), e o Trecho Sul tem cinco pontos de consumo que ficam nos trechos 46, 47, 50, 52 e 54, sendo que os trechos restantes de baixa pressão são os que interligam estes pontos de consumo.

Com o total de seis pontos de consumo somando o Trecho Norte e Trecho Sul, seria necessário um investimento inicial de R\$ 7.200,00 para a instalação de pressurizadores que poderiam resolver os problemas de pressões desta situação.

Tendo em vista que a sociedade não pretende ampliar sua rede neste momento, pois tem um número de associados limitados, a alternativa de instalação de pressurizadores se torna a mais viável, provavelmente ficando a alternativa de elevação do reservatório para um momento futuro quando a sociedade terá um maior poder de investimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo principal o mapeamento, diagnóstico e análise de uma rede de água de uma comunidade rural do município de Arroio do Meio, para que na sequência fossem dadas sugestões de possíveis melhorias.

Com as medições, foi possível fazer o mapeamento que apontou as tubulações da rede de PVC e a variação das bitolas com diâmetros entre 25 mm a 50 mm, um reservatório de água de 20.000 L que abastece a rede que é dividida em dois trechos, um denominado Trecho Norte com 1456,70 metros de extensão, e outra denominada como Trecho Sul com 1918,60 metros de extensão.

Nas planilhas e simulações da rede atual, foi possível constatar a baixa velocidade de fluxo de água em todos os trechos da rede. Foram constatadas pressões abaixo do mínimo normatizado nos trechos 25 a 30 para o Trecho Norte, e nos trechos 44 a 56 no Trecho Sul, podendo concluir que as principais razões são a execução fora dos padrões exigidos e o baixo desnível do reservatório em relação à rede.

Com esse diagnóstico, foram avaliadas propostas que poderiam auxiliar na solução destes problemas. Foi sugerido o aumento do diâmetro da rede principal, a elevação do reservatório e a instalação de pressurizadores para os trechos Norte e Sul. O aumento de diâmetro acabou não atingindo os resultados esperados, pois as pressões ficaram parecidas na maioria dos trechos, e este aumento ainda fez com que as velocidades ficassem abaixo do que acontece na rede atual. A elevação do reservatório foi a proposta que melhor solucionou os problemas de pressão da rede mantendo a velocidade praticamente com os mesmos valores. Uma terceira alternativa foi a instalação de pressurizadores por ponto de consumo, que não resolveria os

problemas gerais de pressão da rede, mas seria uma forma de resolver os problemas de pressão por ponto de consumo.

Como a elevação do reservatório, foi a solução que atingiu resultados mais satisfatórios, foi elaborado um orçamento com todos os materiais, equipamentos e mão de obra necessários para instalação de uma torre de suporte para o reservatório. O valor final do orçamento é de R\$ 39.674,00. Para a alternativa de melhora pontual de pressão foi feito um orçamento para instalação destes equipamentos, onde o valor de investimento, para os seis pontos de consumo com problemas, seria de R\$ 7.200,00.

O mapeamento, análise e dimensionamento de uma rede, deve ser executado por profissionais que possam fazer os levantamentos de dados da forma correta para poder dimensioná-la, sendo que, quanto maior o número de dados coletados e com maior nível de detalhes, maior a probabilidade deste dimensionamento obter êxito.

Para a comunidade em questão deste estudo, é sugerida a instalação de um hidrômetro no reservatório, para ser possível obter os dados de quantidade de saída de água, que comparados com os de entrada nos hidrômetros de cada ponto de consumo, podem facilitar as avaliações de perda de água que acontecem em todo sistema, sendo este um fator muito importante numa possível contenção de custos com instalações e manutenções de uma rede de água.

Como sugestão para trabalhos futuros, é possível indicar um foco em sistemas de abastecimento de comunidades rurais, devido ao pouco material encontrado na literatura, e por eles na maioria das vezes serem realizados sem acompanhamento de profissionais para indicar as melhores formas de execução, com destaque para a parte de mapeamento destes sistemas que geralmente não são registrados, e com o passar dos anos podem ter ações de manutenção e reposição dificultadas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Célia. **Tratamentos de Águas de Abastecimento**. 3º ed. São Paulo: 2010.
- ARAUJO PRINCE, A. Rede de distribuição. In: HELLER, L. e PÁDUA, V.L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006, cap. 14, pg. 603-681.
- ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Perdas em Sistemas de Abastecimento de Água: Diagnóstico, Potencial de Ganhos com sua Redução e Propostas de Medidas para o Efetivo Combate**. Rio de Janeiro, 2013.
- AZEVEDO NETTO, J.M. **Manual de Hidráulica**. 8ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1998.
- BARCELLOS, C. M. et al. **Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000**. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 22, n.9, p.1967-1978, set. 2006.
- BARROS, Raphael T. de V. et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- BRASIL, **Portaria de consolidação nº 5, 28 de setembro de 2017**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html> Acesso em: 01 de maio de 2019.
- CAPUCCI, Egmont; MARTINS, Anderson Martins; MANSUR, Kátia Leite; MONSORES, André Luiz Mussel. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas - orientação aos usuários**. Rio de Janeiro: SEMADS/SEINPE, 2001.
- CAVINATTO, Adriana de Souza; PAGANINI, Wanderley da Silva. **Os microrganismos nas atividades de disposição de esgotos no solo - estudo de caso**. Engenharia Sanitária Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, jan. 2007.

CAVINATTO, V. M. **Saneamento básico: fonte de saúde e bem-estar**. São Paulo: Ed. Moderna, 1992.

COELHO, S. T.; LOUREIRO, D.; ALEGRE, H. **Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR) e Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2006.

CROSS, H. **Analysis of flow in networks of conduits or conductors**. University of Illinois, 1936.

DIAS, M. C. B. F.; VIEIRA, J. M. P.; VALENTE, J. C. T.; COELHO, S. T. **Calibração de Modelos de Simulação de Quantidade e Qualidade de Água em Redes de Distribuição: O Caso da Zona Oeste da Cidade de Bragança**. In: 9º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Loures, Portugal. 2000. Apud Barroso, 2005.

ECKHARDT, Rafael R.; et al. **Zoneamento Ambiental para Sistemas Orgânicos de produção agropecuária no município de Arroio do Meio/RS**. Curitiba, p. 4679, 05 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1021.pdf>> Acesso em: 13 mai. 2019.

FEITOSA, Fernando A. C; MANOEL-FILHO, João; FEITOSA, Edilton Carneiro; DEMETRIO, J. Gleison. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM. 2008.

FERNANDES, N.; MARQUES, G. **Integration of GIS and hydraulic modeling to evaluate the cost of ecological stream flow recovery in Irapé Dam, Brazil**. World Environmental and Water Resources Congress. 2011.

GOMES, H. P. **Sistemas de Abastecimento de Água**: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias. 2a Edição. Editora Universitária / UFPB, 2004.

GONÇALVES, E. **Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – Estudo de caso da CAESB**. Brasília, 1998. Dissertação (Mestrado) Universidade de Brasília. Brasília – DF, 1998.

GRAY, N. F. **Calidad del agua potable: problemas y soluciones**. Zaragoza: Acribia, 1994. CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**. 482p.: il. São Paulo, 1978. 3ed.

HELLER, L. (Org.); PADUA, V. L. (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2006. 859 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento básico 2008**. 2008. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rs&tema=saneamentobasico2008>> Acesso em: 01 set. 2019.

IPEA. Saúde e Saneamento no Brasil. Brasília. 2005. 24p.

IWA – **International Water Association**. Disponível em: <<http://www.iwahq.org/1nb/home.html>> Acesso em: 05 de maio de 2019.

LAMBERT, A. et al. **A review of performance indicators for real losses from water supply systems**. AQUA/IWA, 2000.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

MELATO, Débora Soares. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo**: formação. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MOURA, Marisa Helena Gonsalves; BUENO, Renata Morenoz; MILANI, Idel Cristina; COLLARES, Gilberto Loguercio. **Análise das águas dos poços artesianos do campus CAVG-UFPeI**. In: MOSTRA DE TRABALHOS DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, Pelotas: IFSUL, 2009.

_____**NBR 12211** – Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992.

_____**NBR 12213** – Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

_____**NBR 12214** – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

_____**NBR 12215** – Projeto de adutora de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1991.

_____**NBR 12216** – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

_____**NBR 12217** – Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

_____**NBR 12218** – Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

_____**NBR 12244** – Construção de poço para captação de água subterrânea. Rio de Janeiro, 1994.

OLAIA, A. I. S. **Gestão de sistemas de abastecimento de água através de modelação hidráulica**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2012.

OMS; UNICEF. **Progress on Sanitation and Drinking Water** 2013 update. 40 p.

ONU. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento** (1992: Rio de Janeiro). Agenda 21, 1992.

PEREIRA, H. S.; SILVA, S. S. F.; SOUZA, V. C. **Saneamento Básico e seus Impactos na Saúde Pública no Brasil**. Meio Ambiente, Sociedade e Desenvolvimento: Uma Abordagem Sistêmica do Comportamento Humano. 1ed. Campina Grande: EDUEFG, 2010, v. 1, p. 103-124.

PHILLIPPI, Jr. A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Barueri, 2005.

RAMACHANDRA, T. V.; BHARATH, A. H.; SOWMYASHREE, M. V. **Monitoring urbanization and its implications in a mega city from space: Spatiotemporal patterns and its indicators**. Journal of environmental management, v. 148, p. 67-81, 2015.

RIBEIRO, Julia W; ROOKE, Juliana M. S. **Saneamento Básico e sua relação com o meio ambiente e saúde pública**. 2010. 28f. Monografia (Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO J.M. **Tratamento de Água: tecnologia atualizada**. 1ª.ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1991.

ROCHA, V. A. G. M.; COSTA, M. G. C.; CASTRO, M. A. H. **Calibração de coeficientes de rugosidade de redes de distribuição de água usando o método iterativo do gradiente hidráulico alternativo (MIGHA)**. In: Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, 2009.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2 - Users manual**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000. Tradução e Adaptação pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.

SABESP. **Apostila do Curso de Perdas**. São Paulo: SABESP, 2005.

SILVA, Rodrigues E. **Os cursos da água na história: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos**. Tese de Doutorado. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 1998.

SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). **Anteprojeto de Lei da**

Política Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2003.

TARDELLI FILHO, J. **Controle e Redução de Perdas**. In: TSUTIYA, MILTON T. ET al. **Abastecimento de Água**. 3a ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. P 457-525.

THOMAS, Bruna L. **Proposta de zoneamento ambiental para o município de Arroio do Meio – RS**. Ra e GA – O espaço geográfico em análise, Curitiba, ano 24, p. 199-26, 24 nov. 2011. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/raega/article/view/26215>> Acesso em: 04 mai. 2019.

TRATA BRASIL, Instituto Trata Brasil-Saneamento e Saúde. **Benefícios Econômicos da expansão do saneamento brasileiro, 2015**. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/expansao/Beneficios-economicos-do-Saneamento.pdf>> Acesso em: 06/04/2019.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. 2.ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. São Paulo, 2006, 643 p.

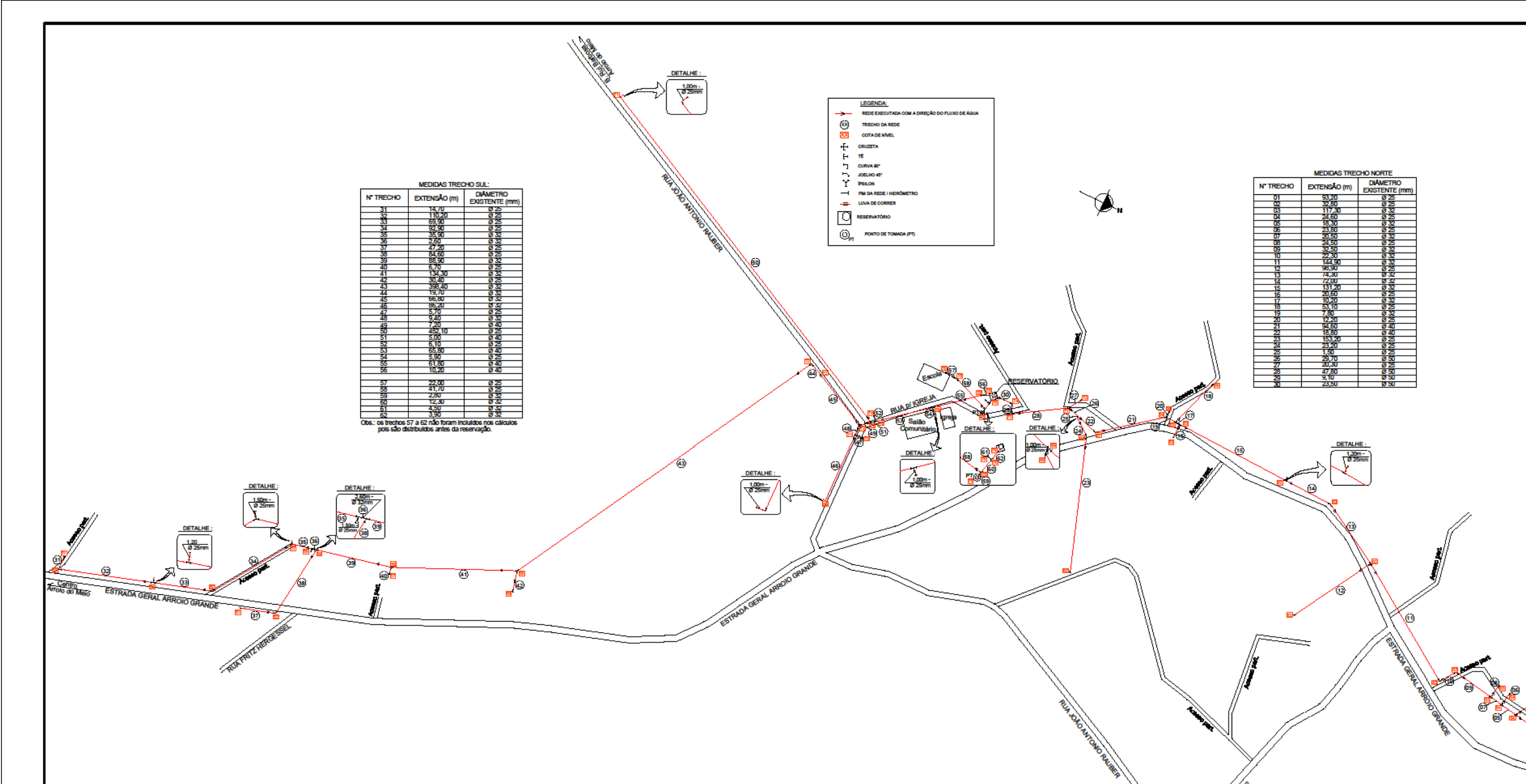
TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Gerenciamento de perdas de água e energia elétrica em sistemas de abastecimento: nível 2** / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Salvador: ReCESA, 2008. 139p.

WALSKI, T. M.; CHASE, D. V. & SAVIC, D. A. **Calibration Hydraulic Network Models**. In: **Water Distribution Modeling**. 1st ed. Waterbury: Haestad Press, 2001a. Cap. 6. Apud Barroso, 2005.

WATSON, Vanessa. Seeing from the South: Refocusing urban planning on the globe's central urban issues. **Urban Studies**, v. 46, n. 11, p. 2259-2275, 2009.

ANEXOS

Anexo A – Mapa planialtimétrico da rede de abastecimento de água



Anexo B – Planilha de cálculos para dimensionamento de rede no Trecho Norte

TRECHO NORTE

Vazão total para trecho NORTE (QT) = P.Q.K1.K2/86400

0,23 l/s

Taxa por ponto de consumo:

0,016667 l/s.casa

C = 140															
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)				DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PERDA DE CARGA UNITÁRIA (m/m)	COTA PIEZOMÉTRICA MONTANTE (m)	PERDA DE CARGA (mca)	COTA PIEZOMÉTRICA JUSANTE (m)	COTA DO TERRENO (m)		PRESSÃO DISPONÍVEL(mca)	
		Q JUSANTE	Q MARCHA	Q MONTANTE	FICTÍCIA (l/s)							MONTANTE	JUSANTE	MONTANTE	JUSANTE
1	93,20	0	0,07	0,07	0,03	25	0,0001	0,0004	77,492	0,035	77,457	65	64	12,49	13,46
2	32,80	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,492	0,001	77,491	65	65	12,49	12,49
3	117,30	0,08	0,00	0,08	0,08	32	0,0033	0,0006	77,419	0,072	77,492	64	65	13,42	12,49
4	24,60	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,419	0,001	77,419	64	64	13,42	13,42
5	18,30	0,10	0,00	0,10	0,10	32	0,0040	0,0009	77,435	0,016	77,419	64	64	13,44	13,42
6	23,80	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,435	0,001	77,435	64	64	13,44	13,43
7	20,50	0,12	0,00	0,12	0,12	32	0,0046	0,0012	77,412	0,024	77,435	63	64	14,41	13,44
8	24,50	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,412	0,001	77,411	63	63	14,41	14,41
9	32,50	0,13	0,00	0,13	0,13	32	0,0053	0,0015	77,460	0,048	77,412	63	63	14,46	14,41
10	22,30	0,13	0,00	0,13	0,13	32	0,0053	0,0015	77,492	0,033	77,460	63	63	14,49	14,46
11	144,90	0,13	0,00	0,13	0,13	32	0,0053	0,0015	77,279	0,213	77,492	62	63	15,28	14,49
12	98,90	0,00	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,279	0,003	77,276	62	62	15,28	15,28
13	74,30	0,15	0,00	0,15	0,15	32	0,0060	0,0018	77,415	0,136	77,279	62	62	15,42	15,28
14	72,00	0,15	0,00	0,15	0,15	32	0,0060	0,0018	77,547	0,132	77,415	62	62	15,55	15,42
15	131,20	0,15	0,00	0,15	0,15	32	0,0060	0,0018	77,787	0,240	77,547	63	62	14,79	15,55
16	20,60	0,00	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,787	0,001	77,787	63	62	14,79	15,79
17	10,20	0,17	0,00	0,17	0,17	32	0,0066	0,0022	77,810	0,023	77,787	63	63	14,81	14,79
18	53,10	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,810	0,002	77,811	63	68	14,81	9,81
19	7,80	0,18	0,00	0,18	0,18	32	0,0073	0,0027	77,831	0,021	77,810	64	63	13,83	14,81
20	12,20	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,831	0,000	77,831	64	66	13,83	11,83
21	94,60	0,20	0,00	0,20	0,20	40	0,0064	0,0011	77,930	0,099	77,831	67	64	10,93	13,83
22	18,80	0,20	0,00	0,20	0,20	40	0,0064	0,0011	77,950	0,020	77,930	69	67	8,95	10,93
23	153,20	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,947	0,004	77,943	67	62	10,95	15,94
24	23,20	0,02	0,00	0,02	0,02	25	0,0008	0,0001	77,950	0,002	77,947	69	67	8,95	10,95
25	1,50	0,02	0,00	0,02	0,02	25	0,0008	0,0001	77,950	0,000	77,950	69	69	8,95	8,95
26	29,70	0,22	0,00	0,22	0,22	50	0,0055	0,0004	77,962	0,012	77,950	71	69	6,96	8,95
27	20,30	0,00	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,962	0,001	77,963	71	72	6,96	5,96
28	47,80	0,23	0,00	0,23	0,23	50	0,0059	0,0005	77,985	0,023	77,962	73	71	4,98	6,96
29	9,10	0,23	0,00	0,23	0,23	50	0,0059	0,0005	77,989	0,004	77,985	74	73	3,99	4,98
30	23,50	0,23	0,00	0,23	0,23	50	0,0059	0,0005	78,000	0,011	77,989	76	74	2,00	3,99
LT	1456,70														

Fonte: Autor (2019).

Anexo C – Planilha de cálculos para dimensionamento de rede no Trecho Sul

TRECHO SUL															
Vazão total para trecho SUL		(QT) = P.Q.K1.K2/86400		0,15 l/s											
Taxa por ponto de consumo:		0,016667 l/s.casa		C=		140									
TRECHO	EXTENSÃO (m)	VAZÃO (l/s)				DIÂMETRO (mm)	VELOCIDADE (m/s)	PERDA DE CARGA UNITÁRIA (m/m)	COTA PIEZOMÉTRICA MONTANTE (m)	PERDA DE CARGA (mca)	COTA PIEZOMÉTRICA JUSANTE (m)	COTA DO TERRENO(m)		PRESSÃO DISPONÍVEL(mca)	
		Q JUSANTE	Q MARCHA	Q MONTANTE	FICTÍCIA (l/s)							MONTANTE	JUSANTE	MONTANTE	JUSANTE
31	14,70	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,649	0,000	77,649	50	51	27,65	26,65
32	110,20	0,02	0,00	0,02	0,02	25	0,0008	0,0001	77,660	0,012	77,649	51	50	26,66	27,65
33	69,90	0,02	0,00	0,02	0,02	25	0,0008	0,0001	77,668	0,007	77,660	52	51	25,67	26,66
34	92,90	0,02	0,00	0,02	0,02	25	0,0008	0,0001	77,677	0,010	77,668	57	52	20,68	25,67
35	35,90	0,02	0,00	0,02	0,02	32	0,0007	0,0000	77,678	0,001	77,677	58	57	19,68	20,68
36	2,60	0,02	0,00	0,02	0,02	32	0,0007	0,0000	77,678	0,000	77,678	58	58	19,68	19,68
37	47,20	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,670	0,001	77,668	52	51	25,67	26,67
38	84,60	0,02	0,00	0,02	0,02	25	0,0008	0,0001	77,678	0,009	77,670	58	52	19,68	25,67
39	88,90	0,03	0,00	0,03	0,03	32	0,0013	0,0001	77,689	0,010	77,678	58	58	19,69	19,68
40	6,70	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,689	0,000	77,688	58	57	19,69	20,69
41	134,30	0,05	0,00	0,05	0,05	32	0,0020	0,0002	77,721	0,032	77,689	58	58	19,72	19,69
42	30,40	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,721	0,001	77,720	58	56	19,72	21,72
43	398,40	0,07	0,00	0,07	0,07	32	0,0027	0,0004	77,883	0,163	77,721	72	58	5,88	19,72
44	19,70	0,07	0,00	0,07	0,07	32	0,0027	0,0004	77,892	0,008	77,883	72	72	5,89	5,88
45	66,80	0,07	0,00	0,07	0,07	32	0,0027	0,0004	77,919	0,027	77,892	72	72	5,92	5,89
46	86,20	0	0,02	0,02	0,01	32	0,0003	0,0000	77,918	0,001	77,917	71	69	6,92	8,92
47	5,70	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,918	0,000	77,918	71	73	6,92	4,92
48	9,40	0,03	0,00	0,03	0,03	32	0,0013	0,0001	77,919	0,001	77,918	72	71	5,92	6,92
49	7,20	0,10	0,00	0,10	0,10	40	0,0032	0,0003	77,921	0,002	77,919	73	72	4,92	5,92
50	452,10	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,921	0,013	77,908	73	71	4,92	6,91
51	5,00	0,12	0,00	0,12	0,12	40	0,0037	0,0004	77,923	0,002	77,921	74	73	3,92	4,92
52	6,10	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,923	0,000	77,923	74	74	3,92	3,92
53	65,80	0,13	0,00	0,13	0,13	40	0,0042	0,0005	77,956	0,033	77,923	76	74	1,96	3,92
54	5,90	0	0,02	0,02	0,01	25	0,0004	0,0000	77,956	0,000	77,955	76	76	1,96	1,96
55	61,80	0,15	0,00	0,15	0,15	40	0,0048	0,0006	77,994	0,038	77,956	76	76	1,99	1,96
56	10,20	0,15	0,00	0,15	0,15	40	0,0048	0,0006	78,000	0,006	77,994	76	76	2,00	1,99
LT	1918,60														

Fonte: Autor (2019).



UNIVATES

Rua Avelino Tallini, 171 - Bairro Universitário - Lajeado - RS
CEP 95914-014 - Fone: (51) 3714.7000
www.univates.br